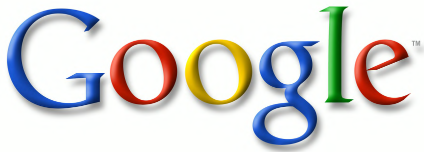
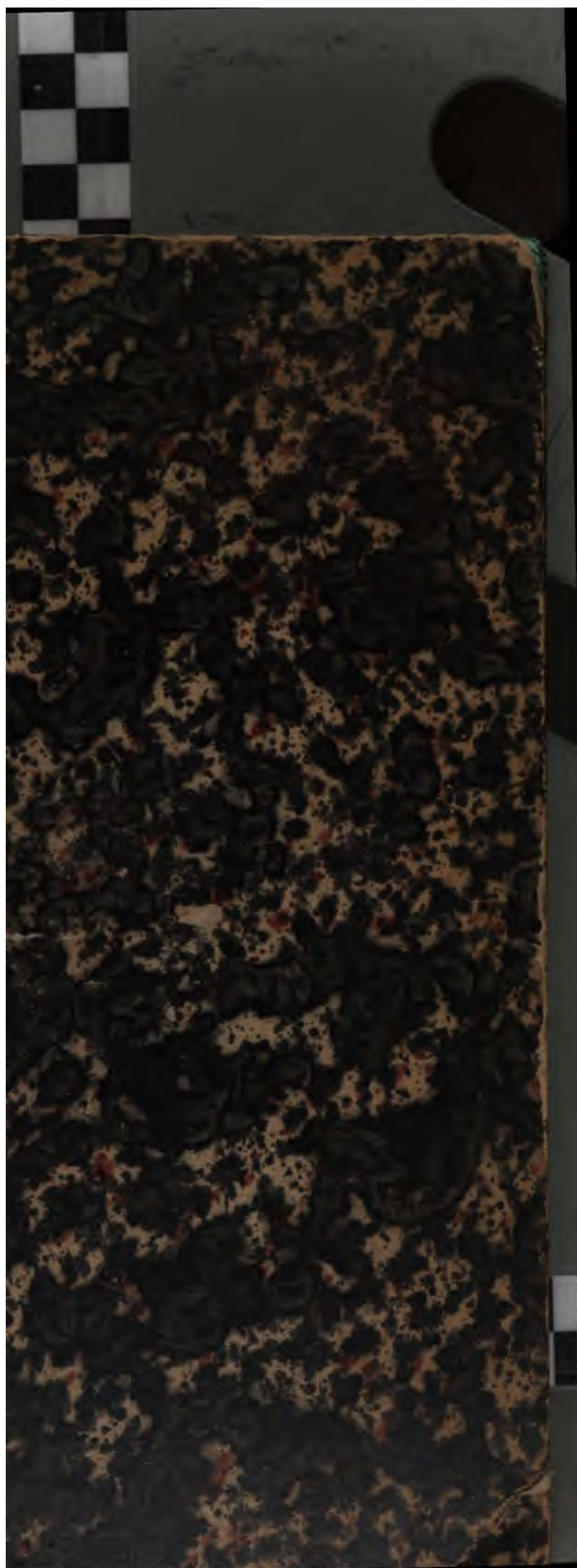
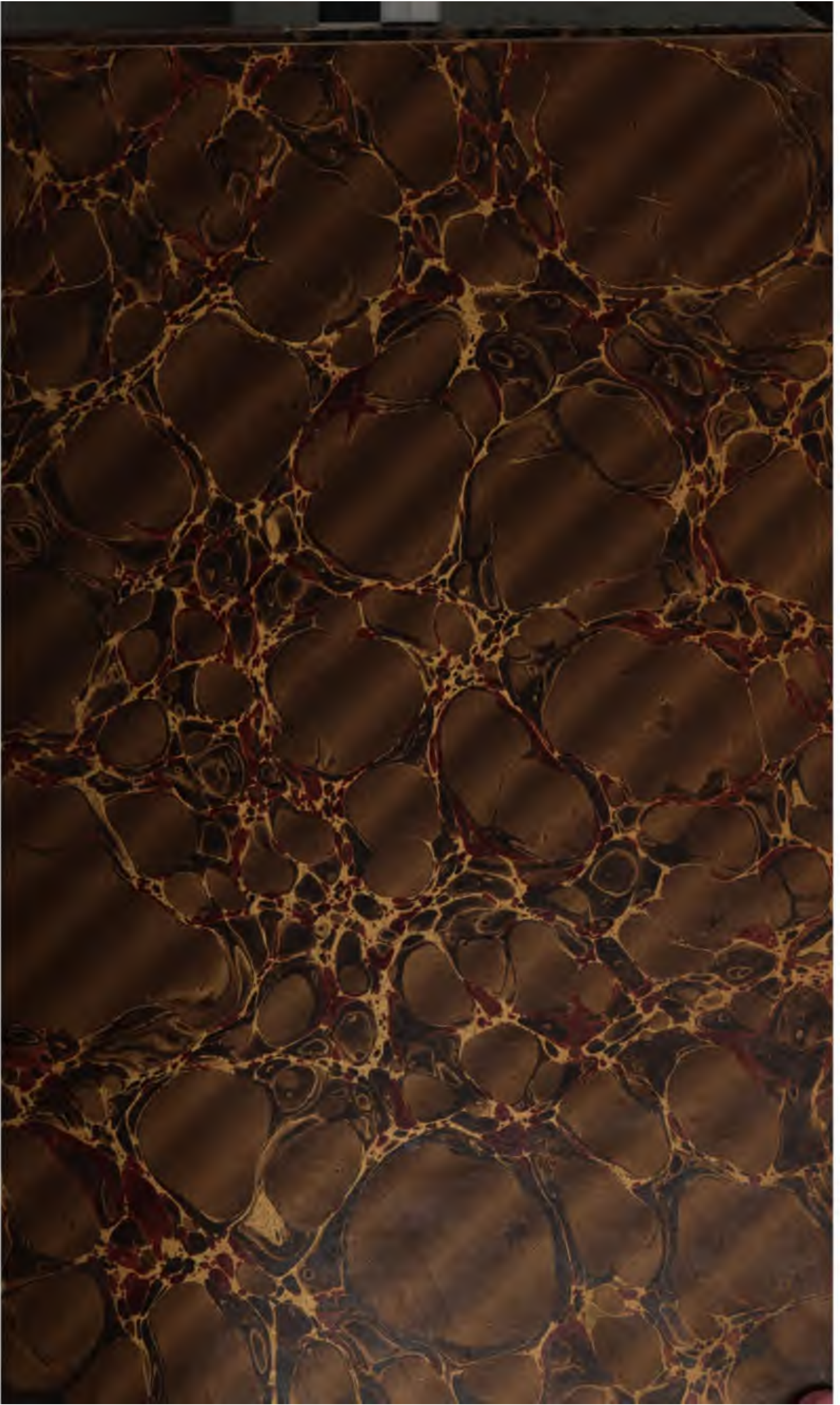
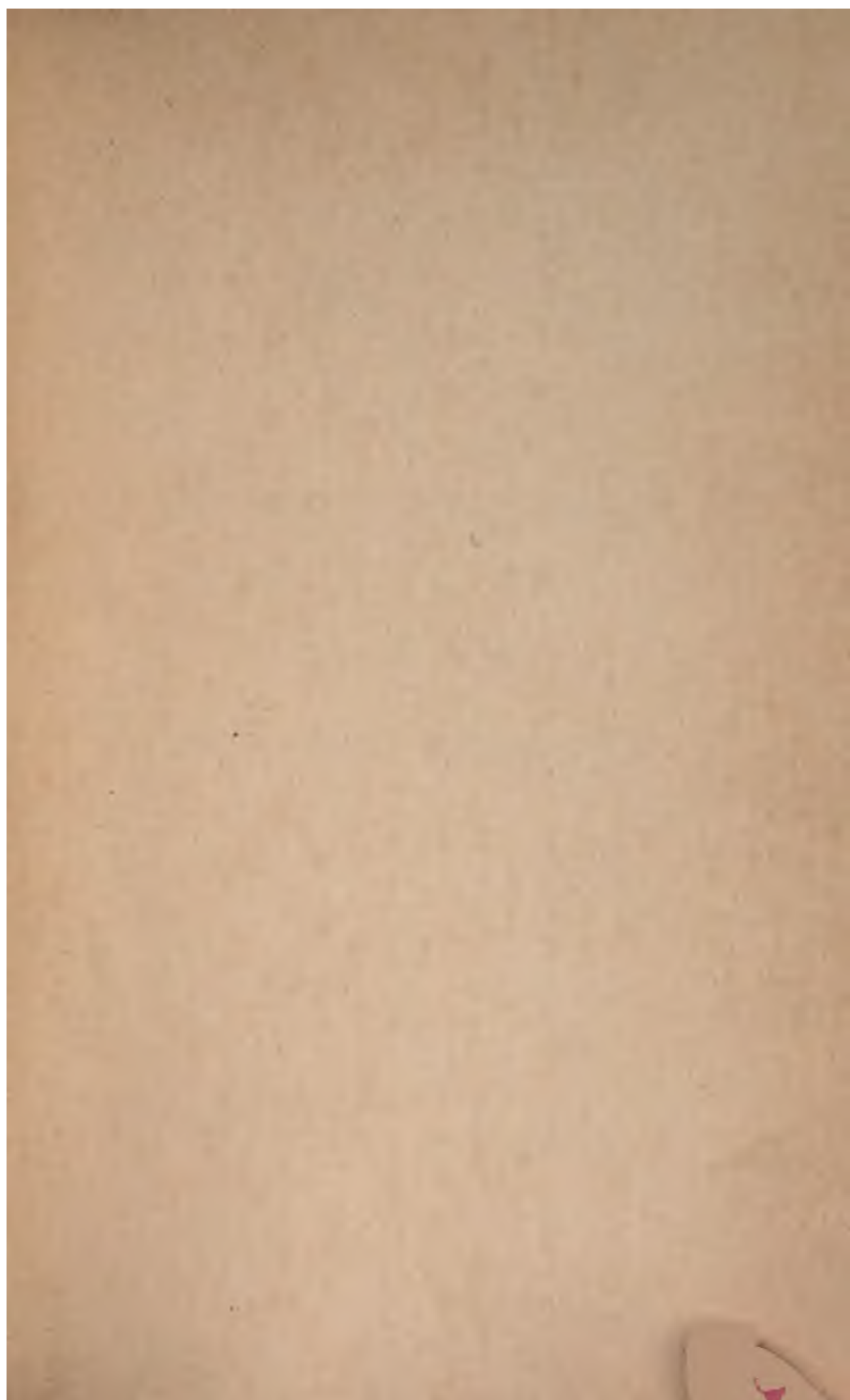






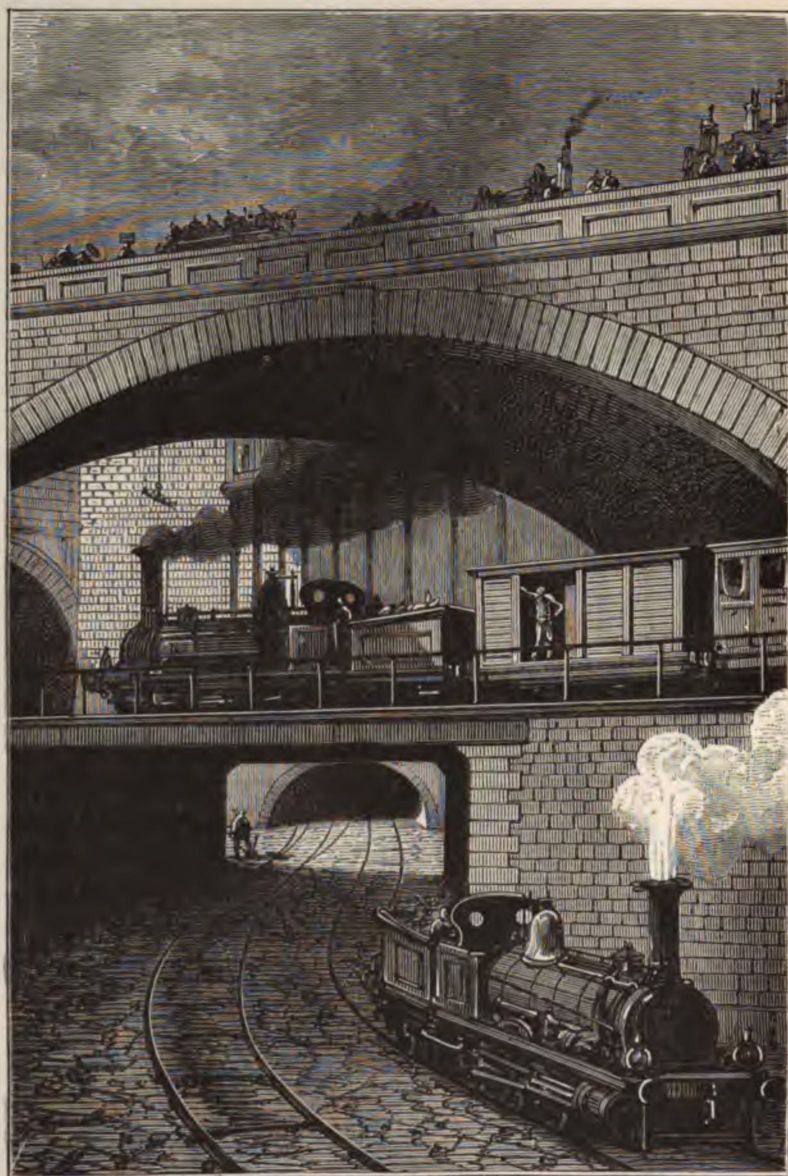




BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE
publiée sous la direction
DE M. GASTON TISSANDIER

LA MÉCANIQUE MODERNE

LES VOIES FERRÉES



Chemins de fer souterrains de Londres.
Lignes superposées passant au-dessous des rues à l'entrée de Clerkenwel tunnel.

BIBLIOTHÈ[illegible] DE LA [illegible]

LA MÉC[illegible]

[illegible]ES VOI[illegible]

[illegible]

L'histoire [illegible]
Trains [illegible] [illegible]agnes
[illegible]

[illegible]

[illegible]



BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

LA MÉCANIQUE MODERNE

LES VOIES FERRÉES

PAR

L. BACLÉ

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

**L'Histoire — La Route métallique — Le Moteur mécanique
Les Trains en marche — Les Chemins de fer dans les montagnes
Les Voies ferrées dans les villes**

148 figures dans le texte
Et 4 planches hors texte.

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

1882

INTRODUCTION

L'étude des chemins de fer, limitée même au point de vue purement technique, formerait aujourd'hui un sujet embrassant pour ainsi dire presque toutes les sciences physiques ; car si, à l'origine, ils se rattachaient exclusivement à la mécanique, dont ils sont restés la plus brillante et la plus heureuse application, leur horizon s'est beaucoup élargi depuis. En présence du développement continuel du trafic et des exigences croissantes de l'exploitation, ils ont dû recourir à toutes les ressources de l'art des constructions pour l'établissement des voies difficiles, comme à toutes les découvertes de la physique moderne, pour protéger efficacement la circulation des trains qui se succédaient de plus en plus nombreux et rapides sur les voies ferrées.

Nous ne saurions évidemment étudier ici d'une manière complète un sujet si complexe sur lequel ont été écrits déjà de nombreux ouvrages qui suffiraient à remplir une bibliothèque entière, nos connaissances seraient insuffisantes pour une pareille tâche dans laquelle s'est illustré plus d'un maître ; nous essayerons seulement de donner un résumé de l'état actuel des questions principales en insistant plus spécialement sur les applications les plus curieuses ou récentes qui excitent aujourd'hui l'intérêt général.

Nous nous attacherons en un mot à appliquer la méthode qui a fait

auprès du public éclairé le succès de la Revue dirigée avec tant de talent par M. G. Tissandier ; nous essayerons enfin de répondre aux questions qui se présentent naturellement à l'esprit du lecteur intelligent et instruit en étudiant avec lui comment sont disposées toutes ces choses sur lesquelles il peut jeter seulement des fenêtres de sa voiture un regard d'un instant; comment a pu être établi, en dépit de tous les obstacles naturels, ce réseau continu de voies ferrées qui va couvrir le monde; quelle est la disposition du moteur merveilleux dont elles disposent, et qui révèle une puissance énorme, inconnue avant lui ; quel est enfin le mécanisme secret de ces appareils qui veillent sur lui dans sa marche rapide et dont l'action incessante est nécessaire pour écarter tout danger de sa route ? Puissions-nous rencontrer dans cette exposition quelque chose de l'intérêt qui s'attache à un pareil sujet, et surtout aux travaux et aux recherches continuelles des ingénieurs éminents qui s'y sont consacrés.

Le présent ouvrage comprend six parties distinctes ·

Dans la première nous examinerons brièvement le rôle et l'influence si grande aujourd'hui des chemins de fer dans la société contemporaine, nous exposerons leur histoire si courte et si étonnante cependant quand on considère leur extension prodigieuse.

Dans les trois parties suivantes, nous étudierons plus spécialement la construction et l'exploitation technique des voies ferrées, sur lesquelles la traction s'opère dans les conditions ordinaires au moyen de locomotives à simple adhérence, et nous conserverons les divisions naturelles admises dans tous les chemins de fer.

Nous examinerons d'abord la voie ferrée proprement dite, en insistant plus spécialement sur les grands travaux d'art qui lui ont permis de triompher des obstacles naturels, et qui sont les véritables monuments de notre époque.

Ensuite, nous exposerons brièvement l'histoire de la locomotive, ce moteur si bien approprié qui a contribué pour une si grande part au succès des voies ferrées, nous décrirons le rôle et le fonctionnement de ses divers organes, de même que ceux des véhicules, en insistant sur les perfectionnements récents dont ils ont été l'objet.

Nous terminerons cette étude en considérant les trains en marche

et nous examinerons les moyens auxquels on a recours aujourd'hui pour les protéger, en régler la vitesse et les arrêter rapidement en cas de besoin.

Dans la cinquième partie, nous examinerons quelques-unes des voies les plus curieuses installées dans des conditions spéciales sur le flanc des montagnes, nous considérerons en un mot la voie ferrée essayant de gravir les fortes rampes sur lesquelles la locomotive ne lui est plus d'aucun secours, et nous étudierons les procédés différents auxquels on a dû avoir recours pour la remplacer.

Enfin, dans la sixième partie qui formera le complément de cet ouvrage, nous décrirons les essais tentés pour appliquer dans des conditions toutes différentes, c'est-à-dire dans l'intérieur des villes, ce mode rapide de transport si bien approprié à cet égard aux besoins de la foule affairée des grandes cités ; nous parlerons des principaux types de chemins de fer métropolitains et surtout des tramways, et nous signalerons enfin l'application toute récente à la traction sur les voies ferrées de ce fluide merveilleux, l'électricité, qui est destiné peut-être un jour à détrôner la vapeur pour devenir le moteur de l'avenir.

L. BACLÉ.

Septembre 1881.

LES

VOIES FERRÉES

PREMIÈRE PARTIE

L'HISTOIRE.

CHAPITRE PREMIER

RÔLE DES CHEMINS DE FER DANS LA SOCIÉTÉ CONTEMPORAINE.

Les chemins de fer ont conquis aujourd'hui une place prépondérante dans les préoccupations et les besoins de notre société contemporaine, ils constituent la plus importante et la plus populaire des découvertes de la mécanique moderne; chacun s'intéresse aux moindres détails de leur organisation, comme à un bien général, au patrimoine commun de tous, et on peut dire vraiment qu'ils nous sont tellement nécessaires maintenant, que s'ils nous étaient enlevés tout à coup, leur suppression deviendrait un malheur public ressenti vivement dans toutes les classes de la société.

Ce mode nouveau de transport s'est imposé si rapidement qu'on le rencontre aujourd'hui dans presque tous les pays du globe; il n'est guère apprécié toutefois depuis plus de quarante années. Au mois de septembre 1880, on célébrait à Liverpool

le cinquantième anniversaire de l'inauguration du premier chemin de fer régulier, et nos contemporains un peu âgés se rappellent encore l'admiration inquiète qu'excita en eux le son strident du sifflet de la première locomotive qui traversa leurs campagnes. Et cependant, aujourd'hui, un réseau de rails s'est établi, qui enveloppera bientôt presque sans interruption tous les continents de ses mailles de plus en plus serrées ; dans son mouvement continuel d'expansion, la voie ferrée qui s'était attachée d'abord aux grands chemins tracés par la nature le long des fleuves, est arrivée à s'en écarter peu à peu, et à triompher successivement de tous les obstacles que lui opposait le relief inégal du sol ; elle a su franchir les rivières et les vallées, les bras de mer eux-mêmes, elle s'est élevée en Amérique au sommet de montagnes aussi hautes que nos plus hautes montagnes d'Europe, ou bien elle a pénétré dans leurs flancs pour les traverser de part en part, et réunir ainsi deux pays séparés par une muraille infranchissable. Le jour n'est pas loin sans doute où elle saura descendre au-dessous du fond de la mer pour rattacher l'Angleterre au continent européen, et alors une file de rails non interrompus s'étendra bientôt à travers tout le vieux monde depuis l'occident de l'Europe jusqu'à l'orient de l'Asie.

Ce prodigieux développement des voies ferrées est un phénomène beaucoup plus important dans l'histoire de l'humanité que la plupart des grands faits politiques dont elle a conservé le souvenir ; il est destiné à prendre place dans ses annales à côté de la découverte de l'Amérique ou l'invention de l'imprimerie par exemple ; car c'est lui qui, de ces grands événements, a tiré presque inopinément toutes les conséquences dernières restées en quelque sorte à l'état latent pendant des siècles. Les chemins de fer présentent d'ailleurs, à tous égards, cette propriété providentielle, pour ainsi dire, de précipiter la marche de l'histoire et l'enchaînement des événements, avec la même vitesse qu'ils ont apportée dans la circulation ; de sorte que nous voyons aujourd'hui s'accomplir en quelques années sous nos yeux, dans

nos mœurs, des transformations complètes qui auraient exigé autrefois plusieurs générations d'hommes.

Le développement des voies ferrées est devenu en effet une question vitale pour les pays qu'elles traversent, il en mesure en quelque sorte la force et la richesse, il exerce une influence décisive sur les destinées économiques et politiques des nations elles-mêmes ; et c'est de lui souvent que dépend et dépendra de plus en plus dans l'avenir, le sort des batailles.

L'industrie et le commerce ont éprouvé également une révolution profonde, et ils ne sont même pas encore arrivés de nos jours à retrouver leur assiette au milieu de l'immense ébranlement que les voies ferrées leur ont communiqué. Leur action, qui restait confinée autrefois aux limites d'une petite province, dispose d'un marché élargi maintenant jusqu'au point d'embrasser le monde entier : l'industriel peut aller chercher directement ses matières premières là où elles se rencontrent naturellement dans les conditions les plus avantageuses, et en même temps il peut exporter partout les produits qu'il en tire, et trouver des débouchés nouveaux dans des pays lointains dont il ignorait même le nom; mais, en revanche, il ne doit pas oublier non plus que ces voies rapides qui emmènent au loin ses produits peuvent aussi bien ramener les concurrents dans son pays même, et lui enlèvent ainsi le monopole dont il y avait joui jusque-là.

Devant une situation pareille, l'industrie a dû s'attacher à produire aussi économiquement que possible, afin de lutter sur le marché du monde devenu ouvert à tous; elle s'est concentrée sur les régions les plus favorisées, et elle y a construit d'immenses ateliers où elle a entassé de nombreux ouvriers pour développer la production. Mais par contre, toutes les autres régions se sont trouvées délaissées peu à peu, et elles ont dû renoncer à la lutte, dans l'impossibilité de réagir contre l'infériorité de leur position naturelle.

A côté de ces sacrifices inévitables résultant des conditions nouvelles qu'ils ont amenées, on peut dire que les chemins de fer ont exercé néanmoins une action bienfaisante; car en multipliant

le nombre des choses utiles mises à la portée de la plus grande partie de l'humanité, ils ont diminué la distance qui séparait le pauvre du riche et réalisé ainsi un certain nivellement dans les différentes positions sociales. Et c'est là, en effet, ce qui résume ces grandes modifications que nous signalions plus haut apportées dans les mœurs des individus; les voyages fréquents ont amené entre les hommes des contacts nouveaux, et dans ce brassage continuel, s'il est permis de s'exprimer ainsi, les mœurs se sont sensiblement uniformisées, les différences énormes qu'on remarquait autrefois entre les villes et les campagnes s'effacent peu à peu, le confortable et le bien-être se sont répandus dans toutes les classes de la population, jusque dans les petits villages ; les vêtements, les habitations, se sont transformés, et le luxe lui-même a fait invasion jusque dans les hameaux les plus reculés, en même temps que trop souvent les travailleurs valides émigraient vers les villes et enlevaient à l'agriculture des bras qui lui font aujourd'hui cruellement défaut.

A d'autres égards, les chemins de fer ont ouvert devant chacun de nous un horizon nouveau sur des pays et des choses entièrement ignorés autrefois, ils nous ont donné le désir des notions exactes en nous permettant de rectifier bon nombre d'idées fausses et de préjugés, tant sur des peuples et des individus de nationalités différentes que sur notre propre société elle-même, et c'est par là peut-être que la guerre disparaîtra un jour, s'il est permis d'espérer que les conflits d'intérêts des hommes et des nations puissent se dénouer jamais sans son intervention.

Et nos facultés intellectuelles sont rattachées entre elles par des liaisons tellement étroites que cette préoccupation, ce besoin de la vérité, nés en nous en présence des renseignements exacts apportés par les chemins de fer, ont exercé leur action sur des matières les plus rebelles en apparence; en un mot ils ont rejailli sur nos goûts eux-mêmes, et on peut dire qu'on trouve là le goût principal d'une époque qui n'en a plus de prédominant.

En matière d'histoire et de littérature, le premier devoir du critique est de replacer avant de les juger les œuvres et les faits

dans le milieu qui leur a donné naissance, comme le premier souci de l'auteur est de donner à son œuvre un cadre aussi authentique que possible, et il ne négligera pour y parvenir aucun voyage lointain, aucune recherche minutieuse. Vous retrouverez cette préoccupation de l'exactitude et de la couleur locale jusque dans la peinture, dans ce goût plus prédominant que jamais pour les objets antiques ou étrangers, de toutes formes et de toutes provenances.

Enfin, les chemins de fer ont amené également dans l'architecture moderne une rénovation complète, ils ont créé en effet, par l'emploi du métal dans les constructions, des types nouveaux, qui ont servi de modèles pour tous les édifices civils. Les grandes gares sont réellement les monuments du dix-neuvième siècle, elles caractérisent bien les tendances démocratiques de l'époque qui les a conçues; comme les églises du moyen âge, et plus qu'elles, elles appellent les foules ; sous leurs voûtes élargies, à côté des nombreux voyageurs qui se pressent, elles reçoivent des trains entre-croisés, sans que le sifflet et la fumée des locomotives y gênent en rien ce mouvement continuel. Leurs colonnes grêles n'ont pas la même grandeur austère que les hauts piliers sombres si multipliés des églises; mais leurs voûtes légères, sous lesquelles l'air et la lumière circulent à plein bord, présentent un caractère imposant néanmoins : leurs points d'appui écartés paraissent si frêles à côté de l'énorme travée qu'elles franchissent.

Cette architecture nouvelle tire sa seule décoration d'elle-même en accusant l'ossature de sa charpente soigneusement dissimulée dans les anciennes constructions ; les lignes presque toujours droites restent un peu monotones peut-être, mais elles accusent bien la forme et la disposition générale de l'édifice, et elles conservent toujours une certaine sobriété élégante qui n'est pas sans grandeur.

CHAPITRE II

CRÉATION ET DÉVELOPPEMENT DES VOIES FERRÉES.

C'est dans les houillères d'Angleterre qu'il faut chercher probablement, vers 1650, la première application des rails en métal pour faciliter la circulation des véhicules. Depuis longtemps déjà, les mineurs avaient disposé, le long de leurs galeries, des longrines en bois qui supportaient les roues de leurs wagonnets en marche, et permettaient ainsi de réduire considérablement le travail des hommes ou des chevaux chargés de les remorquer. Le frottement continuel qui en résultait, amenait à la longue sur ces longrines la production d'une ornière qui allait toujours en s'élargissant, surtout dans les courbes. On eut alors l'idée de la protéger par un revêtement métallique, et on constitua ainsi, dans les parties courbes, une sorte de rail à ornière dont l'usage ne se répandit pas beaucoup cependant en raison du prix élevé du métal.

Toutefois, il est assez curieux de signaler que les rails métalliques étaient déjà connus en France vers cette époque ; mais ils constituaient plutôt un objet curieux dont on ne songeait aucunement à faire une application industrielle. La *Nature* a même publié récemment (n° du 12 mars 1881), une curieuse gravure de la collection des Archives que nous reproduisons ici (fig. 1) ; car elle est le premier document précis que nous possédions sur ce sujet : elle montre que les rails métalliques avaient trouvé leur application, sous le règne de Louis XIV, sur une petite voie construite dans les somptueux jardins du château de Versailles, pour former un jeu de *Roulette*. Un char dans lequel prenaient place les dames de France était poussé à bras d'homme sur cette

voie, et le Roi, qu'on voit debout à l'arrière, semblait juger la course. Le dessin représente même une plaque tournante presque identique à nos plaques actuelles, et qui servait à tourner le véhicule à angle droit pour le remiser sous un petit hangar.

Quoi qu'il en soit, c'est seulement vers l'année 1757 qu'on rencontre des rails métalliques en fonte appliqués pour la première fois d'une façon certaine sur un parcours un peu long, aux forges de Colebrooke Dale ; on les retrouve également d'ailleurs vingt années après, en 1776, dans les mines de Sheffield, présentant déjà l'écartement qui a été depuis universellement adopté. Les rails en fonte tels que Ben Curr les disposait alors, étaient distants à l'intérieur de 4 pieds 8 pouces et demi, et l'écartement des milieux des ornières était de 5 pieds, ce qui donne la largeur de $1^m,445$ entre les faces intérieures des rails, qui est actuellement celle de presque toutes les voies ferrées du monde.

En 1789, Jessop employa pour la première fois des coussinets, fixés sur des dés en pierre, et destinés à maintenir les rails. Plus tard, la forme elle-même des rails fut modifiée à plusieurs reprises ; on renonça à l'ornière généralement adoptée jusque-là, dont le creux se remplissait de poussière et de boue. On disposa, en 1808, une sorte de ruban de fer posé de champ qui était beaucoup moins fragile que l'ancien rail en fonte. Cette grande solidité donnait ainsi aux rails en fer une supériorité inappréciable, toutefois l'emploi ne s'en généralisa que lorsque les progrès de la métallurgie en eurent fait un métal tout à fait commun et d'un prix peu élevé. L'invention du laminoir, cet appareil nouveau, complément indispensable du puddlage à la houille, permit ensuite à John Burkinshaw de préparer en 1820 des rails à double champignon de 4 à 5 mètres de longueur; ce simple progrès permettait déjà de fabriquer rapidement une grande quantité de rails plus longs, tous entièrement identiques, et d'obtenir une voie plus solide, en diminuant le nombre des joints et des appuis. Depuis lors, la fabrication des rails a reçu un développement prodigieux, et on est arrivé à terminer en

quelques années les 400,000 kilomètres de voies ferrées qui couvrent aujourd'hui la surface du globe.

Robert Stephenson adopta en 1820 cette forme à double champignon, restée encore maintenant en usage en Angleterre, dans l'espérance d'augmenter la résistance du rail et même d'en prolonger indirectement la durée, puisqu'il devenait possible de retourner le rail sur lui-même après que le champignon supérieur serait usé.

La fondation de la première compagnie qui ait entrepris les transports sur une voie formée de rails ainsi disposés remonte à 1801; sous le nom de *Surrey Iron Railway*, elle fut autorisée par acte du Parlement à poser une voie ferrée d'une longueur de neuf milles environ allant de Croydon à Wandsworth. Cet exemple fut bientôt suivi en Angleterre et même à l'étranger; la ligne de Stockton à Darlington, d'une longueur de 25 milles, fut ouverte le 27 septembre 1825, et la ligne de Saint-Etienne à Andrézieux fut concédée en 1823 à M. Beaunier. La ligne de Stockton à Darlington fut la première qui ait été ouverte au service des voyageurs, et c'est là également que l'illustre ingénieur Georges Stephenson pratiqua ses premiers essais sur la locomotive, comme nous aurons l'occasion de le dire plus loin. Toutefois, les moteurs mécaniques, surtout les moteurs mobiles, rencontraient encore bien peu de faveur, puisque toutes ces lignes nouvelles étaient exploitées avec des chevaux, et les rares partisans de la traction mécanique voulaient employer des machines fixes et s'en servir comme d'un treuil remorquant les trains, à l'aide d'un câble déroulé.

C'est seulement en 1830, sur la ligne de Liverpool à Manchester, au célèbre concours de Rainhill qui forme une des dates les plus mémorables de l'histoire des chemins de fer, qu'on vit se produire pour la première fois une machine ayant tous les traits distinctifs de nos locomotives actuelles et capable d'entraîner un train de 20 tonnes avec une vitesse de 48 kilomètres à l'heure, soit de 800 mètres à la minute, dépassant ainsi celle du meilleur cheval lancé au galop.

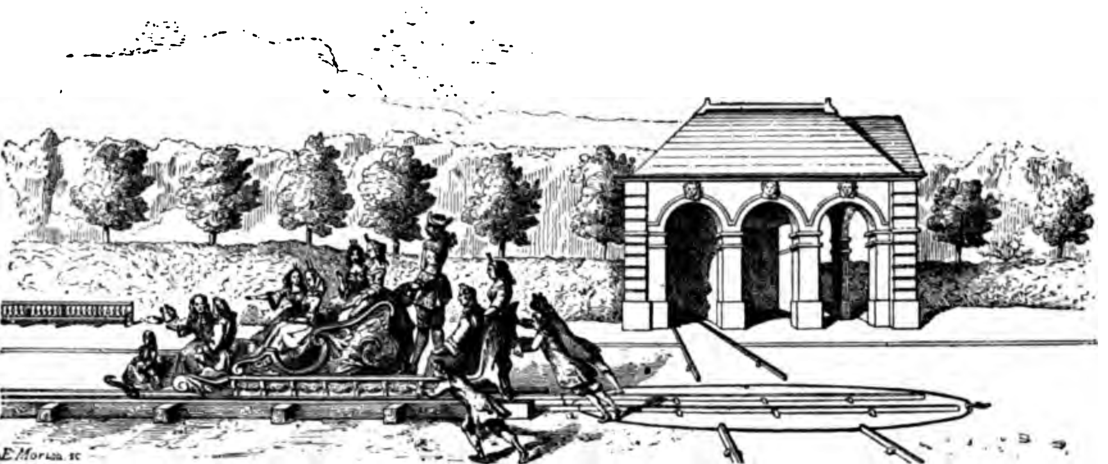


Fig. 1. — Reproduction d'une gravure des Archives nationales, montrant le jeu de la *Roulette* dans les jardins de Marly, sous Louis XIV. — Chariot glissant sur des rails, avec plaque tournante.

L'inauguration de la ligne de Liverpool à Manchester fut célébrée le 15 septembre 1830 avec de grandes cérémonies comme un événement de la plus haute importance, et en présence des premiers personnages du royaume, tels que le duc de Wellington et sir Robert Peel. Les huit locomotives déjà construites alors par Stephenson furent toutes attachées en tête du train officiel dans lequel avaient pris place les invités, au nombre de 772. Toute la population de Liverpool s'était massée en foule le long de la voie, et elle accueillit par des vivats enthousiastes ce spectacle tout à fait nouveau, lorsque le train passa devant elle en débouchant du tunnel voisin de Liverpool à une vitesse de 30 kilomètres à l'heure ; certaines places de spectateurs furent même payées une demi-couronne, d'après le récit de l'*Annual Gazette* de 1830.

Malheureusement cette cérémonie mémorable dont la ville de Liverpool a tenu à célébrer en 1880 le cinquantième anniversaire fut attristée par un douloureux accident, qui forma en quelque sorte le prélude de ceux que le nouveau mode de locomotion devait entraîner dans la suite. A Parkside, le train s'était arrêté, et la locomotive *le Northumbrian* qui tenait la tête sous la conduite de Georges Stephenson lui-même, était venue se ranger sur une voie d'évitement avec la voiture du duc afin que tout le train pût défiler devant lui. M. Huskisson, député de Liverpool, était descendu à cette occasion de sa voiture pendant l'arrêt, et, comme il était resté sur la voie au mépris des instructions prescrites à tous les voyageurs, il fut atteint à la jambe par une locomotive pendant ces manœuvres, et blessé mortellement. Il fut ramené immédiatement à Liverpool où il arriva au bout de vingt-cinq minutes seulement, et il expira le lendemain des suites de sa blessure.

Le premier indicateur officiel, qui fut établi par la Compagnie le 20 juillet 1832, mentionnait seulement les heures de départ sans indiquer les heures d'arrivée des trains. Comme c'est là un document tout à fait curieux pour l'histoire des chemins de fer, nous l'avons reproduit tout entier d'après l'*Engineering*, en en respectant l'ordonnance générale.

VOYAGE

PAR LE

Chemin de fer de Liverpool à Manchester

Les directeurs ont l'honneur d'informer le public que des trains composés de plusieurs voitures partent de la gare de Liverpool, rue de la Couronne, et de la gare de Manchester, rue de Liverpool, dans l'ordre suivant :

HEURES DE DÉPART

(*Les trains de seconde classe étaient imprimés en rouge*).

De Liverpool		De Manchester	
Sept heures.........	Train de 1re cl.	Sept heures.........	Train de 1re cl.
Sept heures et quart.	Train de 2e cl.	Sept heures et quart.	Train de 2e cl.
Dix heures..........	Train de 1re cl.	Huit heures..	Train de 2e cl.
Dix heures et demie.	Train de 2e cl.	Dix heures....	Train de 1re cl.
Douze heures.......	Train de 2e cl.	Douze heures.......	Train de 2e cl.
Deux heures...... .	Train de 1re cl.	Une heure.	Train de 2e cl.
Trois heures........	Train de 2e cl.	Deux heures........	Train de 1re cl.
Quatre heures.......	Train de 2e cl	Trois heures........	Train de 2e cl.
Cinq heures.........	Train de 1re cl.	Cinq heures	Train de 1re cl.
Cinq heures et demie.	Train de 2e cl.	Cinq heures et demie.	Train de 2e cl.

N. B. Les derniers trains, les jours de marché à Manchester (mardis et jeudis), quitteront Manchester à six heures au lieu de cinq heures et demie.

DIMANCHE

Sept heures.........	Train de 2e cl.	Cinq heures.........	Train de 1re cl.
Huit heures.........	Train de 1re cl.	Six heures..........	Train de 2e cl.

PRIX

Par train de 1re classe, *voiture* à 4 places d'intérieur..........	6 sh. 0 d. (7 fr. 50)
— — à 6 places d'intérieur..........	5 sh. (6 fr. 25)
Par train de 2e classe, *voitures munies de glaces*.............	5 sh. (6 fr. 25)
— — *découvertes*..................	3 sh. 6 d. (4 fr. 35)
Prix du transport d'une voiture à quatre roues..............	20 sh. (25 fr.)
— — à deux roues...............	15 sh. (18 fr. 75)

On prend également des voyageurs et des marchandises aux Bureaux de la Compagnie à Liverpool et à Manchester pour

WARRINGTON

PRIX, de Liverpool ou de Manchester. Première classe.......	4 sh. (5 francs)
— — — Deuxième classe.......	3 sh. (3 fr. 75)

LIVERPOOL A BOLTON

HEURES DE DÉPART

Onze heures du matin, cinq heures et quart de l'après-midi, et un seul départ le dimanche à cinq heures et demie de l'après-midi. Prix : intérieur, 5 sh. (6 fr. 25); extérieur, 3 sh. (4 fr. 35).

Bureau du chemin de fer. Liverpool, 183?.

On remarquera que cet indicateur prévoyait deux sortes de trains, les uns composés uniquement de voitures de première, et les autres de voitures de seconde classe.

Le succès inespéré obtenu sur la ligne de Liverpool à Manchester tranchait définitivement la question du moteur à employer; désormais, on était sûr d'avoir une machine capable de donner, comme vitesse et comme puissance, des effets infiniment supérieurs à ceux des moteurs animés. Il n'y avait plus dès lors à hésiter, les voies ferrées reçurent bientôt une extension rapide, et arrivèrent à réunir entre elles un grand nombre de villes importantes. Ces premières voies furent exécutées généralement sans être subordonnées à aucune vue d'ensemble, surtout en Angleterre, car les différentes compagnies qui se fondèrent alors, se préoccupaient uniquement du trafic local qu'elles voulaient desservir, et on était loin de prévoir encore l'essor immense qu'allaient prendre tout à coup les voyages à grande distance. Aussi ne s'était-on pas astreint dès l'origine à avoir un type uniforme de voie, on en posa de différentes largeurs : une même ville possédait souvent plusieurs gares distinctes, on n'avait pris aucune précaution pour raccorder les différents tronçons, et assurer les correspondances d'une direction sur une autre.

Cependant, les voyages et le trafic des marchandises prenaient peu à peu un développement tout à fait imprévu, le public commençait à apprécier les avantages du mode nouveau de circulation, les échanges à grande distance devenaient de plus en plus importants, on se trouva amené par suite à adopter un type uniforme de voies, et on conserva généralement cette dimension de $1^{m},445$ qui était celle des premières lignes, comme nous l'avons dit plus haut.

L'emploi des voies ferrées pour les transports se propagea aussi rapidement en Europe, et de toutes parts on vit surgir des lignes nouvelles, en même temps que se créaient des ateliers pour la fabrication de la machine dont Stephenson avait fixé les traits.

La France prit bientôt sur le continent la tête de ce mouvement : elle avait déjà l'une des premières voies ferrées, celle de

Saint-Etienne à Lyon, construite en 1828 et qui resta exploitée par des chevaux jusqu'en 1832; mais bientôt on établit différentes lignes industrielles, et quelques années après, jusqu'en 1835, des lignes destinées à relier entre elles certaines villes importantes peu écartées: telles sont par exemple les lignes de Cette à Montpellier, Paris à Versailles, Paris au Havre, Lille à Dunkerque, etc....

Vers 1842, on reconnut l'utilité d'établir tous les chemins de fer d'après un plan d'ensemble, et le réseau français fut alors réparti entre six grandes compagnies qui auraient à exploiter chacune une partie donnée du territoire; elles devaient absorber toutes les petites lignes déjà construites et les fondre dans un système de grandes voies divergeant de Paris pour aller chacune dans une direction différente vers la frontière de la France.

Après la constitution des grandes compagnies, décidée par la loi du 11 juin 1842, les travaux de construction reçurent une impulsion considérable, et le réseau des voies ferrées, qui était seulement de 875 kilomètres en 1845, atteignait déjà 3,000 en 1850. Ce mouvement d'extension qui avait été arrêté un instant en 1848, reprit ensuite un nouvel essor, et le nombre de kilomètres exploités en 1857 dépassait déjà 8,000.

La crise qui éclata à cette époque, fut traversée victorieusement grâce au concours financier de l'Etat, et depuis lors, le réseau des voies ferrées n'a plus cessé de s'accroître.

Les chemins de fer furent appelés partout, on peut le dire, par le désir universel des populations des régions traversées, et ils furent achevés au milieu d'un concours unanime qui ne fit jamais défaut : les travailleurs de tout genre, ouvriers et ingénieurs, mirent la main à l'œuvre pour sillonner la France de voies ferrées, ceux qui n'y collaborèrent pas directement fournirent leurs capitaux, et il est certain que nul n'est resté absolument en dehors de cette œuvre immense qui résume le travail de l'humanité pendant ces trente dernières années.

Et ce que nous disons ici de la France est vrai également de tous les pays; et on verra, en consultant la figure 2 ainsi que le tableau que nous reproduisons dans les pages suivantes, avec

quelle rapidité les chemins de fer se sont développés en Angleterre et en Allemagne par exemple.

L'exemple le plus frappant qu'on puisse donner du mouvement prodigieux que la voie ferrée entraîne avec elle, c'est celui des Etats-Unis dans lesquels l'établissement des chemins de fer a précédé souvent celui des villes elles-mêmes qu'ils devaient réunir.

Les Américains n'hésitèrent pas à établir, à travers les forêts du nouveau monde, des voies nouvelles dans des pays presque déserts; ils apportèrent là l'esprit d'initiative fébrile qu'on retrouve dans presque toutes leurs grandes entreprises, et ils arrivèrent ainsi à constituer un réseau plus long que celui de la vieille Europe tout entière: leurs voies, construites souvent d'une manière hâtive et sans solidité aucune, ont pu transporter cependant dans ces pays nouveaux ces armées d'immigrants qui ont défriché la terre et fécondé un sol inhabité jusque-là.

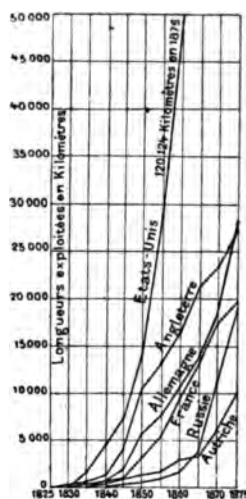


Fig. 2. — Progrès des voies ferrées de 1825 à 1875.

Il n'est pas jusqu'aux pays les plus lointains de l'Asie, par exemple, condamnés en apparence à une immobilité éternelle, qui ne soient sortis de leur sommeil pour contempler cette chose nouvelle, plus étonnante peut-être que les plus grandes merveilles dont leurs vieilles annales aient jamais fait mention, et le sifflet de la locomotive vient aujourd'hui dans l'Inde, le Japon et la Chine elle-même troubler, jusque dans leurs temples, le repos silencieux des dieux antiques.

(*Voir le tableau suivant.*)

TABLEAU

donnant en kilomètres le développement des chemins de fer dans les différents pays du monde.

(*Extrait du rapport de M. Jacqmin sur l'Exposition universelle de* 1878.)

NOMS DES ÉTATS.	1825	1830	1835	1840	1845	1850	1855	1860	1865	1870	1875	1876
Europe	40	121	432	2,762	9,052	23,060	33,097	51,066	74,538	102,804	141,990	149,468
Amérique Nord	»	66	1,767	4,534	7,455	14,587	31,539	52,820	60,184	89,704	128,614	133,654
Amérique Centrale	»	»	»	211	418	418	708	742	742	868	1,028	1,067
Amérique Sud	»	»	»	»	»	»	183	410	1,564	3,599	6,745	8,396
Totaux	»	66	1,767	4,745	7,873	15,005	32,430	52,792	62,490	94,171	136,387	143,117
Asie	»	»	»	»	»	»	251	1,396	5,625	8,291	12,010	13,230
Afrique	»	»	»	»	»	»	146	445	836	1,782	2,475	2,748
Australie	»	»	»	»	»	»	55	363	847	1,882	3,437	4,018
Totaux généraux	40	187	2,199	7,507	16,925	38,055	65,979	117,242	144,336	208,930	296,299	312,581

Tableau détaillé pour l'Europe et l'Asie.

NOMS DES ÉTATS.	1825	1830	1835	1840	1845	1850	1855	1860	1865	1870	1875	1876
Angleterre	40	91	253	1,348	4,080	10,653	13,322	16,787	21,382	23,507	27,039	27,621
France	»	50	141	426	875	3,000	5,526	9,444	13,590	17,762	19,913	20,355
Espagne	»	»	»	»	»	27	444	1,040	4,579	5,293	6,143	6,579

Portugal	»	»	»	»	»	»	35	68	700	719	1,034	1,443
Italie	»	»	»	»	127	425	909	2,000	4,034	6,173	7,702	8,045
Suisse	»	»	»	»	5	27	212	1,097	1,340	1,463	1,767	1,938
Autriche	»	»	13	143	898	1,290	1,443	2,876	3,582	5,992	10,324	11,090
Hongrie	»	»	»	»	34	219	550	1,599	2,114	3,461	6,384	6,437
Allemagne	»	»	6	468	2,127	5,855	7,824	11,087	13,899	18,664	27,951	29,167
Belgique	»	»	19	333	576	854	1,332	1,706	2,249	2,996	3,599	3,645
Hollande	»	»	»	17	156	179	314	388	862	1,316	1,709	1,746
Luxembourg	»	»	»	»	»	»	»	»	»	272	272	272
Danemark	»	»	»	»	31	31	31	111	418	764	1,270	1,429
Suède	»	»	»	»	»	»	41	530	1,302	1,733	3,987	4,155
Norvège	»	»	»	»	»	»	68	86	278	368	523	591
Russie	»	»	»	27	143	500	1,044	1,590	3,926	11,240	19,427	21,923
Roumanie	»	»	»	»	»	»	»	»	37	436	1,250	1,426
Turquie	»	»	»	»	»	»	»	66	66	634	1,604	1,595
Grèce	»	»	»	»	»	»	»	»	11	11	11	11
Totaux	40	141	432	2,762	9,052	23,060	33,099	41,084	75,369	102,804	141,911	149,468

Asie.

Turquie	»	»	»	»	»	»	»	43	148	235	415	447
Indes anglaises	»	»	»	»	»	»	251	1,353	5,419	7,788	10,605	11,443
Ceylan	»	»	»	»	»	»	»	»	58	58	179	335
Iles Philippines	»	»	»	»	»	»	»	»	»	101	449	449
Java	»	»	»	»	»	»	»	»	»	109	288	474
Chine	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8	16	16
Japon	»	»	»	»	»	»	»	»	»	66	66	66
Totaux	»	»	»	»	»	»	251	1,396	5,625	83,5	12,018	13,230

DEUXIÈME PARTIE

LA ROUTE METALLIQUE.

CHAPITRE PREMIER

LES TRAVAUX D'ART.

La supériorité des voies ferrées sur les routes empierrées, et le développement merveilleux qu'elles ont reçu tiennent essentiellement à ce fait, qu'elles utilisent beaucoup mieux pour le transport la force motrice dépensée. Elles constituent en effet une voie entièrement polie, sans aspérité, tandis que sur les chaussées ordinaires, les roues des véhicules subissent à chaque instant une infinité de petits chocs qui gênent leur marche, elles vont en sautant d'une pierre à une autre pour tomber quelquefois brusquement dans une ornière. De pareils soubresauts, particulièrement accentués sur les routes en mauvais état, sont tout à fait nuisibles pour la conservation des véhicules; ils ont en outre l'inconvénient d'absorber la plus grande partie de l'effort moteur et de réduire d'autant la charge transportée. Ainsi un cheval, qui ne peut guère porter à dos plus de 150 kilog., traîne déjà sur une chaussée en bon état près de 1,000 à 2,000 kilog.; mais sur une voie ferrée, la charge qu'il remorquerait peut dépasser 6,000 kilog.

Tant que les routes sont restées sans entretien, il était même plus commode d'effectuer les transports à dos de bêtes de somme plutôt que d'employer un véhicule, bien que le poids chargé fût

ainsi très limité. Plus tard, il devint possible d'y avoir recours ; mais tant que les routes n'arrivèrent pas à un état tout à fait satisfaisant, on ne songeait pas encore à distinguer dans l'effort de traction ainsi dépensé la partie considérable inutilement absorbée pour vaincre les résistances de la voie, et celle qui, en présence des rampes par exemple, la seule qu'on ne pût réduire sans changer le tracé, servait effectivement à soulever le véhicule malgré l'effort de la gravité : par suite, les routes mal entretenues restaient encore entièrement droites et ne jugeaient pas nécessaire de se dévier pour franchir une montée quelconque.

L'effet moteur à dépenser pour entraîner un poids d'une tonne dépassait alors souvent 100 kilog., soit $^1/_{10}$ environ. Plus tard, l'état des routes s'améliora, elles furent soigneusement empierrées, et l'effort moteur s'abaissa vers 30 à 40 kilog. ; on put alors augmenter d'autant le poids remorqué, mais comme il devenait impossible de franchir directement les montées en entraînant la même charge qu'en palier, la route perfectionnée dut se dévier, et répartir la hauteur à gravir sur une longueur plus considérable afin que l'effort de traction ne dépassât jamais une limite déterminée.

Enfin, sur les voies très fréquentées, les chaussées furent garnies de pavés taillés dont la surface large et polie offrait ainsi au roulement une résistance considérablement diminuée encore, et l'effort moteur s'abaissa par suite vers 15 à 25 kilog. On rencontre même dans certaines villes du Midi, surtout en Italie, des chaussées garnies de pavés formant seulement deux lignes continues maintenues entre elles au même écartement que les roues des véhicules dont elles adoucissent ainsi beaucoup le roulement. Le reste de la chaussée et l'intervalle compris entre ces lignes de pierres sont garnis seulement de cailloux et de sable, comme les chaussées ordinaires.

C'est là en quelque sorte un premier essai de routes analogues à nos chemins de fer actuels.

D'ailleurs, les rails métalliques, qui fournissent une surface de roulement bien polie et beaucoup plus douce encore que les pavés polis, étaient employés depuis longtemps déjà dans les mines d'An-

gleterre, comme nous l'avons dit plus haut, seulement leur emploi était limité aux parties en courbe, et ils présentaient la forme d'ornières creuses dans lesquelles s'engageaient les roues du véhicule. Cette disposition, qu'on a dû reprendre pour les rails des tramways afin de les maintenir au niveau du sol, entraîne des frottements plus considérables que la forme saillante des rails à champignon qu'on rencontre aujourd'hui sur toutes les voies ferrées : l'effort moteur en palier qui est de 7 à 10 kilogrammes dans le premier cas, s'abaisse alors en effet à 4 ou 5 kilogrammes par tonne.

On comprend par là quel avantage décisif présentent les voies ferrées dans les lignes en palier, puisqu'elles permettent alors d'entraîner avec le même effort une charge souvent dix fois plus élevée que sur une route ordinaire. Et si l'on considère, d'autre part, qu'elles emploient en même temps un moteur mécanique admirablement approprié à cette destination, et d'une puissance incomparablement supérieure à celle de tous les moteurs animaux, on comprend que ce nouveau mode de transport devait triompher de tous les autres sans aucune comparaison possible.

Toutefois, il ne faut pas oublier que ces avantages si décisifs vont en décroissant rapidement aussitôt que la voie n'est plus en palier, car il faut vaincre alors les actions de la pesanteur qui restent les mêmes quel que soit le mode de traction employé. Ainsi, on peut estimer que l'effort résistant va en s'accroissant de 1 kilogramme environ par millimètre de pente, de telle sorte qu'une rampe de 10 millimètres oblige à augmenter de 10 kilogrammes par tonne l'effort moteur, et comme c'est là à peu près la résistance que présente en palier un train attelé en tenant compte de la résistance propre à la locomotive, on voit que cette machine ne pourra déjà plus remorquer dans ces conditions que la moitié de la charge qu'elle aurait entraînée en palier. Et si la rampe atteignait 20 millimètres, l'effet utile se trouverait réduit au tiers, tandis que, sur une route ordinaire, la diminution relative serait bien loin d'être aussi sensible.

Les voies ferrées obéissent donc à des exigences bien plus impérieuses au point de vue du tracé, et il faut éviter absolument

les rampes un peu fortes, si on tient à retirer de ce mode de transport tout l'effet utile qu'il comporte. Aussi, les chemins de fer n'ont pas hésité à assurer ce résultat essentiel même au prix des plus grands sacrifices : ils ont supprimé toutes les ondulations du sol, coupé les collines, ou comblé les vallées en quelque sorte, pour conserver l'horizontalité de la voie. Ils sont arrivés ainsi à creuser des tranchées ou à amonceler des remblais de près d'un kilomètre de longueur, à percer même des galeries à travers les montagnes, à lancer des viaducs par-dessus les vallées. Tous ces travaux, auxquels il faut ajouter les ponts jetés par-dessus les grands fleuves, auraient paru entièrement irréalisables autrefois, et ils constituent certainement les véritables monuments de notre époque ; car ils montrent comment l'homme est arrivé à triompher des obstacles naturels que lui imposait le relief du sol, en le modifiant en quelque sorte à sa volonté, et on peut dire vraiment qu'il a su réaliser ainsi la parole de l'Evangile : « *Les montagnes seront abaissées et les collines seront unies.* »

CHAPITRE II

PONTS ET VIADUCS.

Tranchées et remblais. — La nécessité de conserver une pente régulière aussi faible que possible oblige à maintenir la voie sur le sol à une sorte de niveau moyen intermédiaire entre le haut des collines et le fond des vallées, comme nous venons de le dire, et par suite, il devient nécessaire d'entreprendre des travaux parfois considérables dans les pays un peu accidentés : tantôt, il faut relever la voie à une grande hauteur pour atteindre doucement un point élevé, ailleurs, il faut trancher une colline pour descendre sans trop de pente à un point plus bas.

Les chemins de fer se sont donc trouvés amenés à donner une extension considérable à ces travaux de terrassement sans les créer tout à fait cependant. On cite actuellement des tranchées de voies ferrées qui ont une profondeur atteignant parfois 20 mètres, comme celle de Pont-sur-Yonne sur la ligne de Paris à Lyon, et pour laquelle il a fallu déblayer 500,000 mètres cubes de terre. Celle de Poincy, sur la ligne de Strasbourg, a près de 2 kilomètres de long et 16 mètres de hauteur; celle du Tring sur la ligne de Londres à Birmingham a un volume qui dépasse 1,100,000 mètres cubes. En dehors de ces exemples tout à fait exceptionnels, on rencontre fréquemment des tranchées de plusieurs centaines de mètres de longueur sur toutes les voie ferrées.

Ces travaux présentent une grande importance au point de vue de l'établissement du prix de revient de la voie en construction; toutefois, ils n'offrent rien de bien spécial à l'industrie des chemins de fer, et ils s'effectuent encore aujourd'hui d'après les

anciens procédés; aussi nous ne croyons pas devoir y insister ici.

Nous citerons seulement un essai curieux tenté en Amérique pour effectuer mécaniquement les terrassements. On employait à cet effet une machine formée par une sorte de grand soc traîné par une locomotive, et destinée à creuser un fossé de chaque côté d'une ligne déjà posée. Ce soc, qui ne pèse pas moins d'une tonne, est supporté, comme on le voit (fig. 3), par l'intermédiaire d'une grue fixée sur un wagon chargé lui-même de 10 tonnes de rails pour former contre-poids. La charrue, mise en mouvement, soulève la terre jusqu'à la hauteur de son arête supérieure, et rejette de côté les mottes brisées; un racloir formé d'une grande plaque d'acier est ensuite mis en place, et nettoie définitivement le fond de la tranchée ainsi déterminée.

Cette machine, construite par M. Buchanam, inspecteur des chemins de fer méridionaux des États-Unis, a déjà exécuté, paraît-il, sur la ligne de Saint-Louis d'Arkansas plus de 1,600 kilomètres de fossés, avec un avancement atteignant parfois 300 mètres à l'heure.

Viaducs et ponts. — Dès que le niveau de la voie dépasse une certaine hauteur au-dessus du sol, il est préférable de construire un viaduc plutôt que d'édifier des remblais énormes; et cette disposition, plus heureuse au point de vue de l'aspect extérieur, présente également l'avantage d'occuper moins de terrain, et d'assurer le débouché des eaux; car celles-ci, en s'accumulant parfois dans le fond des vallées, peuvent amener des dégâts terribles, lorsqu'elles sont arrêtées par une chaussée en terre.

Ces viaducs, qui s'étendent parfois sur une longueur de plus d'un kilomètre, à une hauteur presque vertigineuse, deviennent réellement des œuvres d'art, tant par la grandeur et l'harmonie de leurs proportions, que par leur caractère architectural. De pareilles constructions n'appartiennent pas sans doute essentiellement aux chemins de fer, mais les ingénieurs de voies ferrées qui ont eu à exécuter ces travaux si rares jusque-là, ont su y réaliser des progrès importants, tant par l'emploi de matériaux nouveaux que par la bonne disposition des anciens. C'est

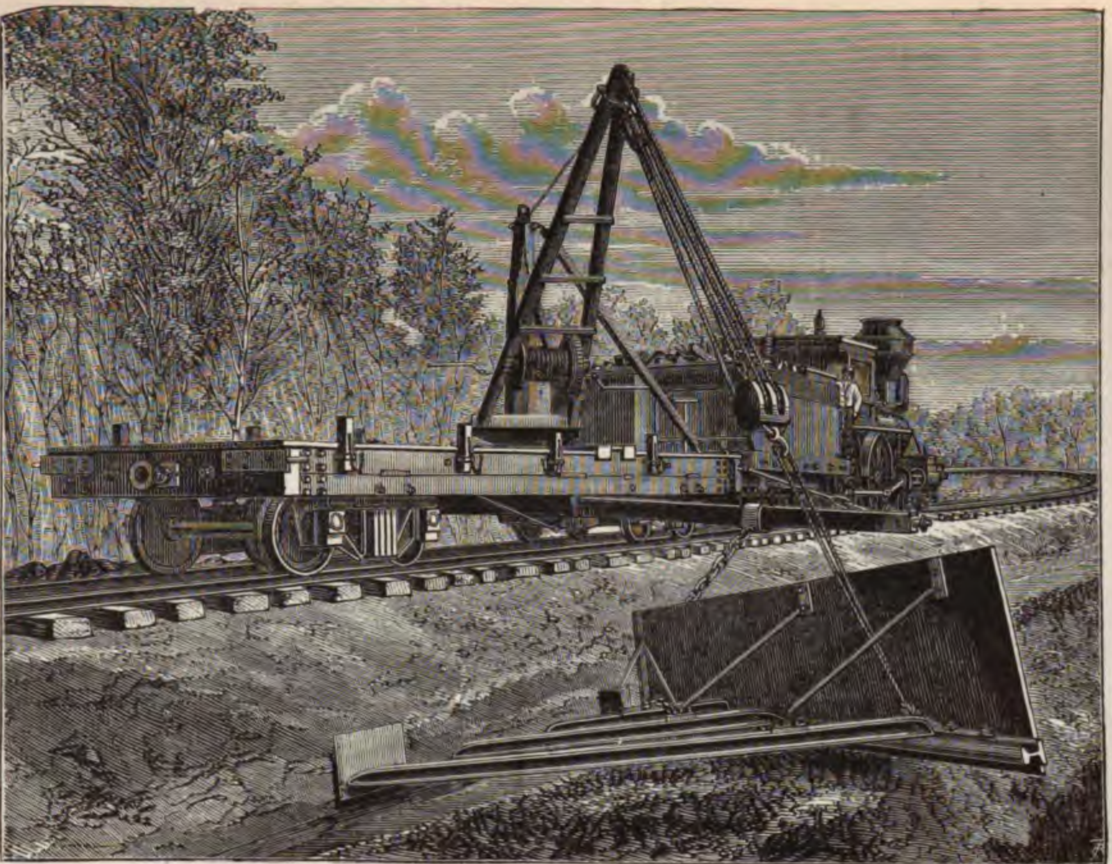


Fig. 3. — Charrue traînée par une locomotive servant en Amérique à creuser les fossés des voies ferrées.



Fig. 4. — Vue intérieure des travées du milieu du pont de Tay.





Fig. 4. — Vue intérieure des travées du milieu du pont de Tay.

vaux de ce genre, car les côtes de la Grande-Bretagne sont découpées, comme on le sait, par une infinité de petits golfes ou bras de mer qui pénètrent souvent fort loin à l'intérieur des terres, et fournissent ainsi aux navires ces ports bien abrités qui sont devenus le point de départ de la fortune maritime de ce pays. Les chemins de fer qui les desservent doivent traverser ces golfes, et les ingénieurs ont été ainsi amenés à construire des travaux d'art très remarquables en raison des conditions difficiles dans lesquelles ils ont été effectués. La plupart de ces ponts anglais ont dû être construits en métal, et l'emploi des poutres en fer a permis d'allonger beaucoup les travées, de les établir sans multiplier les piliers, et souvent sans avoir besoin d'échafaudages.

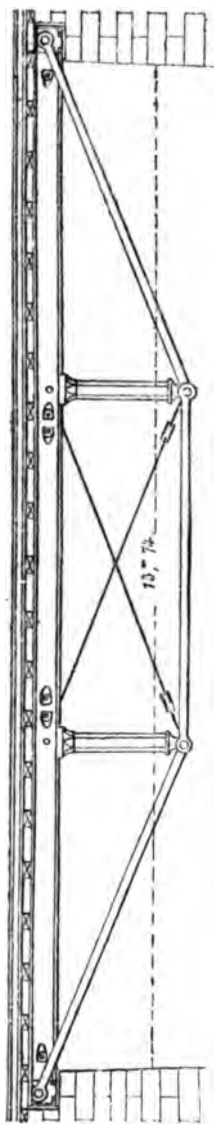


Fig. 5. — Disposition d'un pont métallique américain à tablier supérieur avec tirants articulés.

L'exemple de l'Angleterre fut bientôt imité sur le continent : tous les grands fleuves sont aujourd'hui traversés par des ponts de ce genre, et il serait à peu près impossible d'en donner une énumération complète. Nous pourrions citer, par exemple, le beau pont de Beaucaire sur le Rhône, celui de Lyon et celui de Mâcon sur la Saône, celui de Bordeaux sur la Garonne, les ponts de Kehl, de Cologne, de Dusseldorf, etc., sur le Rhin, ou encore le beau viaduc de Fribourg, audacieusement suspendu à 96 mètres au-dessus du lit de la Sarine et qui fait l'admiration de tous les touristes. Tantôt on emploie une simple poutre métallique en fer à té reposant sur les deux

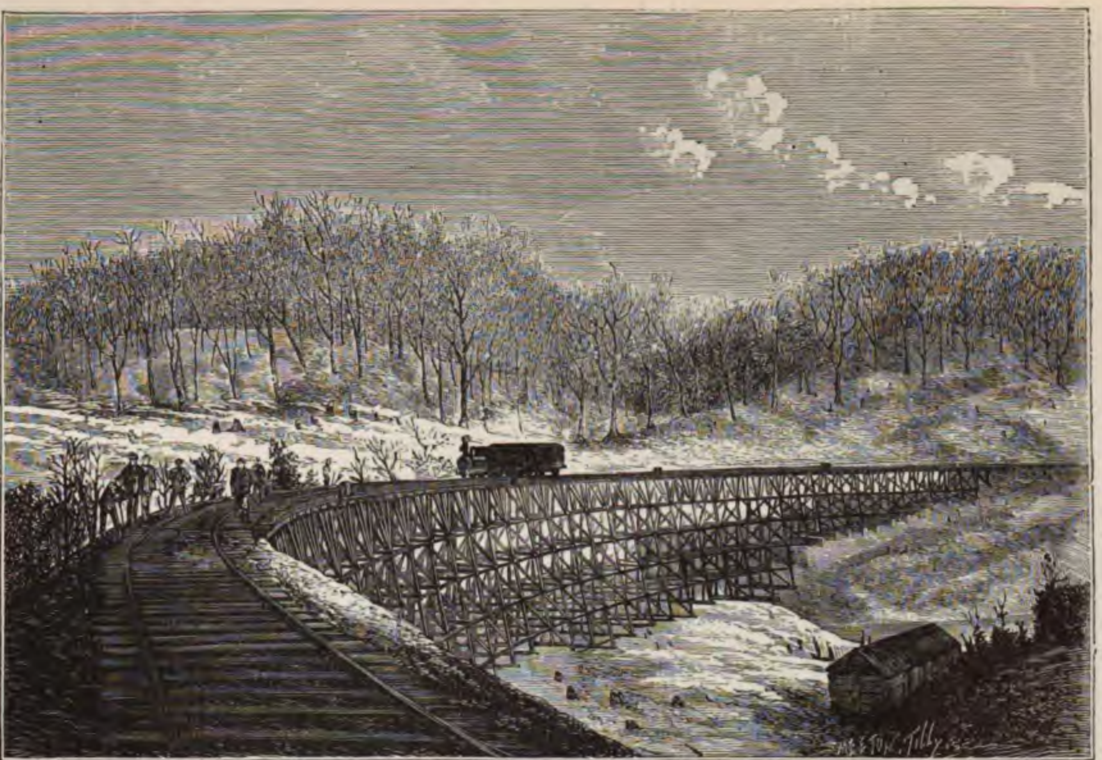


Fig. 6. — Vue du viaduc en bois de Western Fork sur la ligne de la vallée du Crédit au Canada.



Fig. 7. — Vue du pont en bois établi sur le Génessée (chemin de l'Érié).

piliers extrêmes de la travée, comme on en voyait un exemple sur une partie du pont de Tay ; mais, plus fréquemment, la poutre est disposée en treillis et présente la forme d'un véritable tube qui lui donne plus de raideur. Telles étaient par exemple les travées du milieu du pont de Tay dont la figure 4 représente la vue intérieure, et qui se sont écroulées dans la lugubre catastrophe du mois de décembre 1879.

Dans les ponts européens, les tirants diagonaux destinés à former le treillis de chaque côté de la poutre, sont toujours rivés à demeure, tandis qu'en Amérique on adopte des articulations qui laissent à ces pièces une certaine liberté de flexion, comme on en voit un exemple sur la figure 5, qui représente un pont métallique à tablier supérieur de type ordinaire.

Ponts en bois américains. — On rencontre fréquemment, aux États-Unis, des ponts en bois particulièrement curieux, établis souvent dans des conditions qui paraîtraient tout à fait téméraires en Europe. On sait, en effet, que dans la construction de leurs voies ferrées, les ingénieurs américains se sont préoccupés surtout d'établir rapidement et à peu de frais les lignes utiles à la colonisation, et leurs premiers ouvrages d'art sont presque toujours en bois seul ou associé avec le fer, et presque jamais en maçonnerie. Les assemblages des pièces sont exécutées d'une manière très simple au moyen de chevilles et d'étriers en fer, et on n'y emploie pas les embrévements, ni même les tenons et les mortaises de la charpente européenne, considérés comme trop compliqués. Malgré ces conditions défectueuses, les constructeurs arrivent à franchir avec des poutres en bois des portées de 40 à 50 mètres, comme dans le système Howe, par exemple : les poutres sont alors maintenues par des tirants verticaux en fer avec écrous de serrage.

Le pont de Western Fork dans le Canada, ainsi que celui de Génessée près du lac Érié, que nous représentons sur les figures 6 et 7, sont remarquables par leur simplicité, car ils sont établis avec de légers treillis en bois qui permettent de tirer parti des pièces de faible équarrissage.

Lancement d'un pont à travées rectilignes. — Comme le lancement d'un pont est une opération particulièrement difficile, au point que cette considération influe souvent sur le type à adopter dans la construction, il convient d'y insister en raison de l'importance du sujet; et, pour en donner une idée, nous décrirons le lancement du pont de Syzran sur la Volga, qui fut opéré en 1879 dans des conditions tout à fait curieuses.

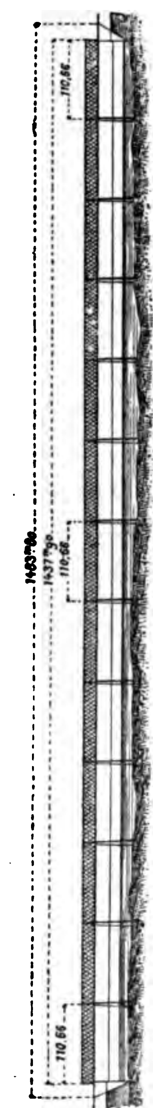


Fig. 8. — Vue longitudinale du pont de Syzran sur la Volga.

La Volga, dont la largeur habituelle dépasse 1500 mètres, est sujette, comme on sait, à des crues périodiques à l'époque du printemps, et elle couvre alors un espace de plus de 10 kilomètres, circonstance qui fut mise habilement à profit, comme nous le dirons plus loin, pour faciliter le lancement. La rive droite de la rivière, à Syzran, est formée par des terrains bas et marécageux qui sont toujours inondés dans les débordements de la Volga, et on a dû relever la voie au-dessus du niveau du sol et prolonger le pont par un viaduc de 8 kilomètres de longueur. Quant au pont lui-même (fig. 8), il a 1439 mètres de long, il comprend 13 travées ayant 111 mètres chacune; celles-ci sont supportées par des piliers d'une hauteur de 24 mètres, qui reposent à la base sur des caissons en bois remplis de béton, enfoncés de 2 mètres environ dans le sol du fleuve. Chacune des 13 travées comprend une seule poutre de fer en treillis d'un poids de 506 tonnes.

La mise en place d'une pareille masse présentait d'énormes difficultés dont l'ingénieur en chef, M. Bérésin, parvint à triompher heureusement toutefois; il réussit à éviter la construction d'un échafaudage dans le lit de la rivière en ayant recours au procédé que nous

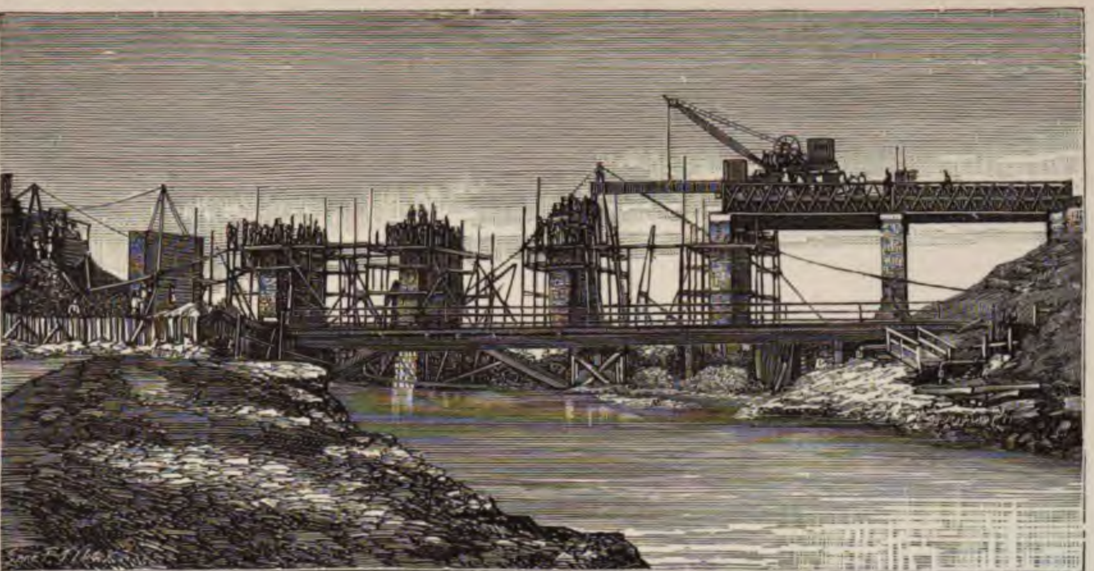
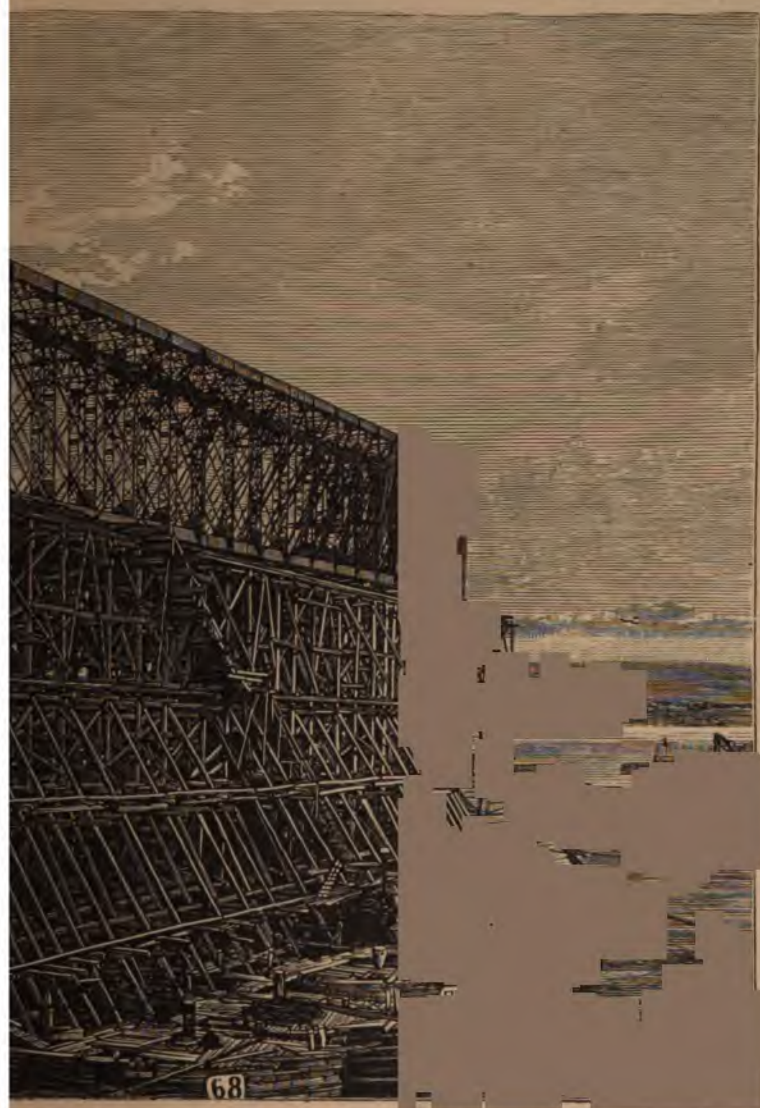


Fig. 9. — Viaduc de Llandulas. — Lancement des travées.





VUE D'UNE TRAVÉE DU PONT DE SYZRAN PORTÉE SUR L'É



ILE, AU MOMENT DE SA MISE EN PLACE SUR LES PILIERS.

allons indiquer : il construisit sur la rive droite un énorme échafaudage de 24 mètres de haut, sur lequel les 13 poutres furent successivement rivées et entièrement terminées, puis il les amena au moyen d'un second échafaudage flottant monté sur un radeau à la position qu'elles devaient occuper sur les piliers.

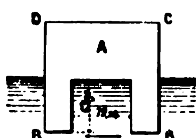


Fig. 10. — Coupe de l'échafaudage fixe.

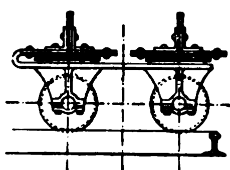


Fig. 11. — Vue des chariots supportant la poutre du pont.

La planche I représente la poutre soutenue par l'échafaudage mobile au moment de la mise en place, et elle donne bien l'idée de l'importance de ce travail d'après le nombre et les dimensions des pièces de charpente qu'il fallut employer. Le plan de l'échafaudage fixe A est donné dans la figure 10; on voit qu'il comprend deux ailes en saillie formant une sorte d'échancrure, dans laquelle on venait placer l'échafaudage mobile dont la section, représentée à plus grande échelle dans la figure 11, était juste égale au vide ménagé dans le premier.

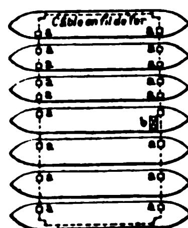


Fig. 12. — Pont de Syzran. — Bateaux de l'échafaudage mobile.

Cette opération, qui devenait particulièrement laborieuse en raison de la hauteur des échafaudages et du poids de la poutre à manœuvrer, fut exécutée de la manière suivante : la poutre, posée sur la partie pleine de la charpente fixe parallèlement à CD, était supportée par cinquante-deux chariots (fig. 11) disposés, au nombre de deux, sous chacun des vingt-six tirants verticaux qu'elle renfermait. Ces chariots roulaient sur autant de voies ferrées parallèles entre elles, et ils permettaient ainsi d'amener la poutre jusqu'au bord de l'échancrure. A partir de là, il fallait enlever les chariots du milieu pour avancer la poutre sans la faire

rouler dans le vide, et il restait seulement, aux deux extrémités, soutenus par les deux ailes de l'échafaudage, quatre tirants verticaux sous lesquels on venait placer une partie des premiers chariots devenus inutiles. La poutre était mise en mouvement au moyen de huit treuils, dont quatre placés aux extrémités des ailes, et manœuvrés chacun par quatre hommes.

Lorsque la poutre ainsi entraînée était arrivée au milieu de l'espace vide, on amenait sur un radeau l'échafaudage mobile qui devait l'emporter. Ce radeau était formé par sept canots de 46 mètres de long sur 9 de large, assemblés comme l'indique la figure 11, et munis chacun de deux pompes rotatives, actionnées par une machine à vapeur au moyen d'une transmission par câble métallique. La hauteur de l'échafaudage mobile était également de 24 mètres, et, avant d'introduire le radeau dans le vide de la charpente fixe, on amenait de l'eau dans les barques à l'aide des pompes afin d'abaisser le niveau du plancher supérieur, puis, lorsque le radeau était arrivé en place, on épuisait l'eau ; l'échafaudage, en se relevant, soulevait avec lui la poutre qui cessait de reposer sur les chariots des ailes.

Le radeau était alors emmené par trois bateaux remorqueurs, et quand la poutre était arrivée exactement au-dessus de la position définitive qu'elle devait occuper, on ramenait de l'eau dans les barques, et la poutre, s'abaissant lentement, venait reposer sur les piliers où on la fixait à demeure.

Dans le cas où le lancement peut s'opérer au niveau même du pont à construire, on peut amener les poutres en s'appuyant sur les travées déjà construites, comme on l'a fait, par exemple, pour les ponts de Kehl et de Fribourg.

Nous avons représenté comme exemple dans les figures 9 et 13, le mode de lancement des sept travées du viaduc de Llandulas qui franchit la rivière Dulas sur la ligne de Chester à Holyhead. Ce pont présente en outre un intérêt particulier, car il fut étudié et bâti en un mois seulement, il put être livré à la circulation trente-cinq jours après l'écroulement d'un pont en maçonnerie qu'il remplaçait et qui avait été emporté entièrement par une

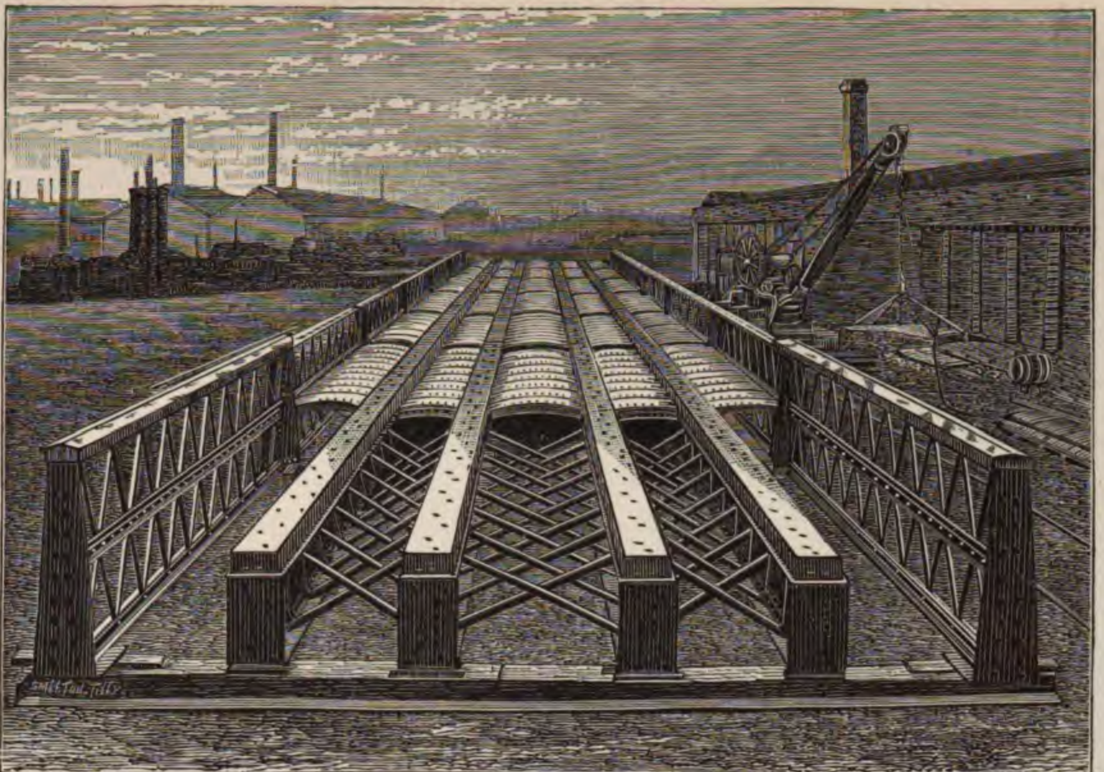


Fig. 13. — Viaduc de Llandulas. — Vue intérieure du tablier.





VUE DU GRAND PONT D'E

Pl. III, page 43.



IVER, A NEW-YORK.

crue subite de la rivière. Toutes les pièces furent fabriquées en acier et laminées dans les forges de Crewe; comme on tenait avant tout à opérer rapidement, on avait supprimé tous les assemblages, et fabriqué d'un seul morceau les fers à té des poutres en leur donnant assez de longueur pour qu'ils vinssent occuper l'écartement tout entier d'une travée. Un pareil exemple montre bien toute la puissance de fabrication des usines modernes, et il fait voir en même temps quelle rapidité et quelle sécurité l'emploi du métal a permis d'apporter dans les constructions.

Ponts en arc. — En dehors de ces poutres droites et qui sont devenues aujourd'hui d'un usage si fréquent, on a construit également des types de ponts entièrement métalliques, mais dont les voûtes en arc sont disposées comme celles des ponts en pierre. Celles-ci sont même formées parfois par l'assemblage de véritables voussoirs métalliques, solidement reliés entre eux, qui conservent leurs lignes de joints comme les pierres ordinaires. Les arches ainsi constituées, ouvertes en quelque sorte à tous les vents, sont bien plus légères que les voûtes massives en pierres, et en même temps l'érection de la voûte s'opère aussi dans des conditions beaucoup plus favorables, et sans exiger ces échafaudages dispendieux d'une installation si gênante et difficile. Comme les voussoirs déjà placés se tiennent assemblés d'eux-mêmes avant l'achèvement complet de la voûte, il est possible de s'en faire des points d'appui pour amener les nouveaux à poser.

C'est le procédé qui a été suivi avec tant de succès par M. Eifel dans la construction du beau pont de Maria-Pia qu'il a réussi à jeter sur le Douro. Ce pont, que nous avons représenté dans la planche II, possède une ouverture de 160 mètres, et une hauteur totale de 61^{m},28. Il est constitué par un seul arc rigide solidement rattaché aux deux naissances sur les culées. Cet arc, dont l'épaisseur va en grandissant jusqu'à la clef où elle atteint 10 mètres, supporte la poutre horizontale sur laquelle est posée la voie ferrée ; il est en outre rattaché à celle-ci par des tirants qui servent également à le consolider. Le montage a présenté des difficultés exceptionnelles, et on a réussi à éviter la construction des échafau-

dages en s'appuyant, comme nous le disions, sur les voussoirs déjà posés qui étaient reliés eux-mêmes par des haubans aux piles voisines.



Fig. 14. — Pont de Cincinnati sur l'Ohio. 1866.

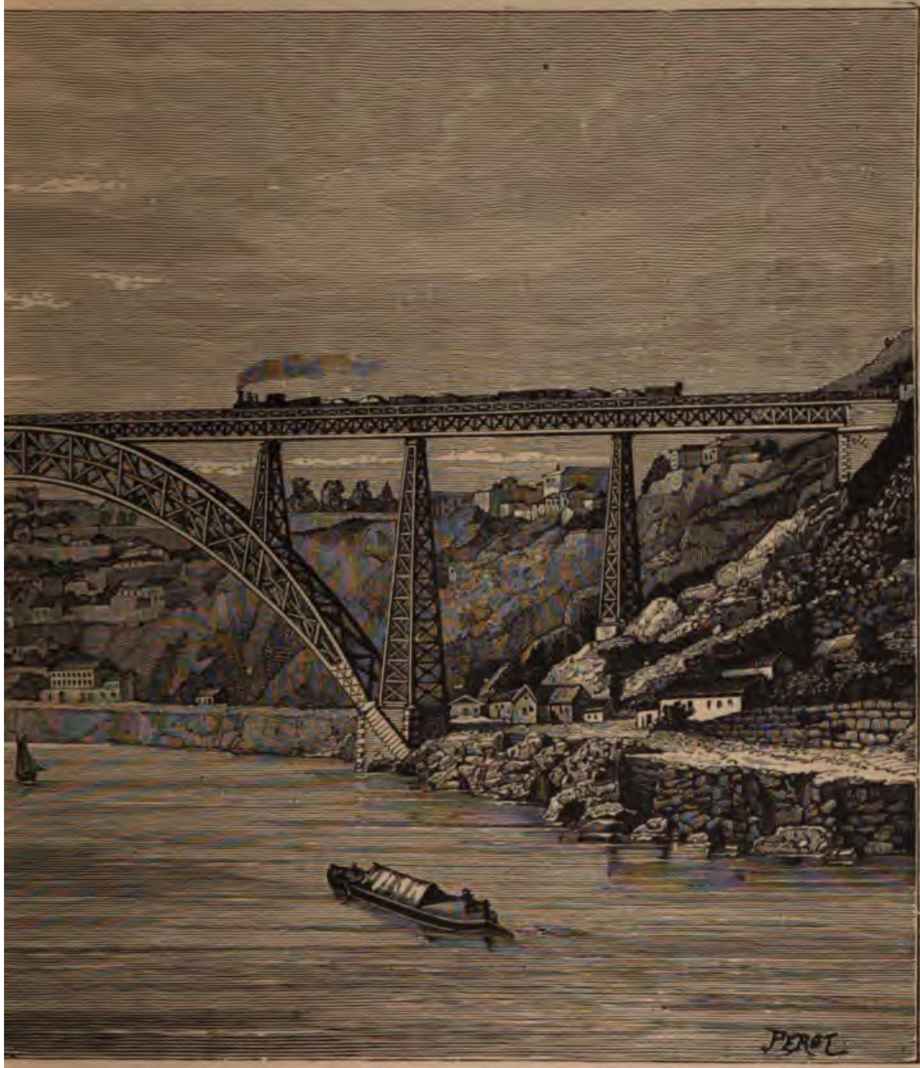
Ponts suspendus. — Ces deux types de ponts, droits ou cintrés, sont les plus fréquemment adoptés en Europe ; mais on emploie quelquefois, surtout en Amérique, d'autres ponts dont le tablier est soutenu seulement par des câbles métalliques solidement amarrés aux deux extrémités.

Les ponts ainsi constitués, connus sous le nom de *ponts suspendus*, traversent généralement sans point d'appui intermédiaire des vallées élargies, beaucoup plus larges que les plus grandes travées des poutres rigides, ils acquièrent ainsi un caractère d'élégance et de légèreté incomparables, et forment en quelque sorte un mince ruban métallique oscillant avec les vents à des hauteurs vertigineuses.

Pour donner un peu de rigidité au pont, on le soutient souvent, comme en Amérique, par des tirants divergents partant des sommets des piliers extrêmes et qui viennent supporter le tablier de distance en distance. On trouve un exemple de ce mode d'attache dans le pont Cincinnati sur l'Ohio (fig. 14), et dans le grand pont suspendu de New-York (planche III). Au Niagara, le tablier métallique du pont, qui est amarré d'une façon analogue, est formé en outre d'une sorte de poutre en treillis soutenue aux quatre angles par autant de câbles métalliques. Ce pont (fig. 16), qui est lancé au-dessus de la rivière, à peu de dis-



VUE DU PONT DE MA



A PIA SUR LE DOURO.

tance en amont de la célèbre cataracte, a une hauteur de 75 mètres et une ouverture totale de 250 mètres; mais en aval on rencontre une autre passerelle plus hardie encore avec une ouverture de 385 mètres. Celle-ci fut construite en 1869 par l'ingénieur John Roebling, qui avait lancé déjà, en 1866, le pont de Cincinnati, dont la travée a 322 mètres. Son fils, Washington Roebling, est l'auteur du célèbre pont de New-York sur l'East-River, qui est réellement l'un des plus beaux et des plus audacieux qu'on puisse rencontrer. Ce pont (planche III), dont la longueur est de 1052 mètres, est supporté par quatre câbles de 39 centimètres de diamètre, comprenant 6224 fils d'acier non tressé et pesant chacun 11,380,000 ki-

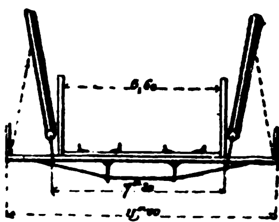


Fig. 15. — Coupe du pont de Cincinnati.

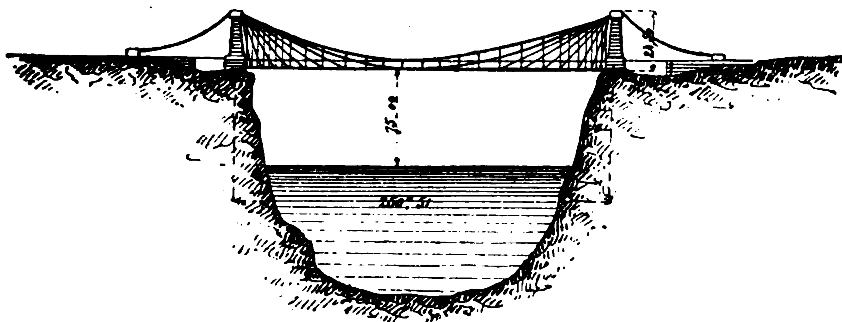


Fig. 16. — Vue du pont du Niagara en amont de la cataracte.

logrammes. Ceux-ci sont soulagés par six poutres métalliques et 280 haubans. Le tablier a 26 mètres de large, il comprend deux voies ferrées, quatre pour le passage des voitures, et une passerelle au milieu pour les piétons (fig. 18). Il est élevé à une hauteur de 41 mètres au-dessus du niveau de la haute mer, et soutenu par deux piliers en granit dont les fondations descendent à 30 mètres au-dessous du fond de l'eau. La hauteur totale de ces piliers est de 114 mètres, et le volume énorme de maçonnerie

qu'ils comprennent n'est pas inférieur à 36,160 mètres cubes.

Le lancement des ponts suspendus présente souvent des difficultés considérables ; lorsque tout le câble métallique est tissé à l'avance, on est obligé d'en faire le levage en masse pour l'amener en place sur ses supports avec la flèche qu'il doit présenter qui est calculée avec une grande précision ; autrement, on peut poser d'abord une petite passerelle, et tisser le câble à mesure du lancement. L'ouvrier chargé d'entrelacer les fils fait alors, en tissant, la navette d'une extrémité à l'autre, et il s'attache, au moyen d'un gabarit, à donner en chaque point la grosseur exigée.

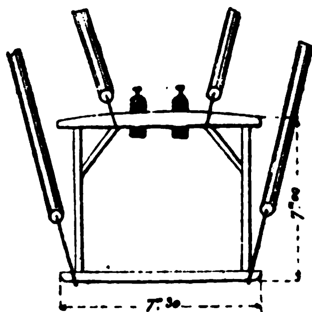


Fig. 17. — Coupe du pont du Niagara.

Fondations des piles. — Nous n'insisterons pas sur les travaux de fondation des piles qui ne présentent souvent rien de particulier, et qui sortent déjà de notre cadre ; nous signalerons seulement, en raison de l'intérêt qu'il présente, le procédé à l'air comprimé qui permet d'établir directement sous l'eau, dans le lit même d'une rivière, les fondations des piliers du pont qui doit la traverser. Dans ce mode de construction si curieux qui a été appliqué pour la première fois par M. Triger, les ouvriers peuvent descendre jusqu'au fond de la rivière et draguer librement pour enlever la terre dans des conditions presque aussi faciles que s'ils étaient encore sur le sol. On descend à cet effet un caisson en tôle ouvert par le bas qui repose directement sur le gravier, et on expulse l'eau qui se répandrait à l'intérieur, en y lançant de l'air comprimé sous une pression suffisante pour maintenir l'eau en équilibre. Les ouvriers pénètrent alors dans cette atmosphère artificielle en descendant dans le caisson par un tube ménagé à cet effet, et ils versent les déblais qu'ils ont creusés dans une benne qui est ensuite relevée à l'aide d'un treuil et ramenée à l'air libre. D'autre part, on a soin de ménager sur le tube qui débouche dans le caisson une sorte de sas intermédiaire ou

d'écluse donnant alternativement la communication, soit avec l'air extérieur, soit avec l'atmosphère comprimée du caisson. Ce sas était disposé autrefois à la partie supérieure du tube, mais comme on était obligé de le démonter à mesure de l'approfondissement des travaux, on préfère maintenant le placer immédiatement au-dessus du caisson, et il s'enfonce alors avec lui. C'est la disposition qui a été adoptée dans les fondations du grand pont de Saint-Louis sur le Mississipi; le caisson qu'on voit sur la figure 19 avait 25 mètres de long sur $18^{m},50$ de large, et il a été enfoncé de $31^{m},50$ en contre-bas des eaux ordinaires.

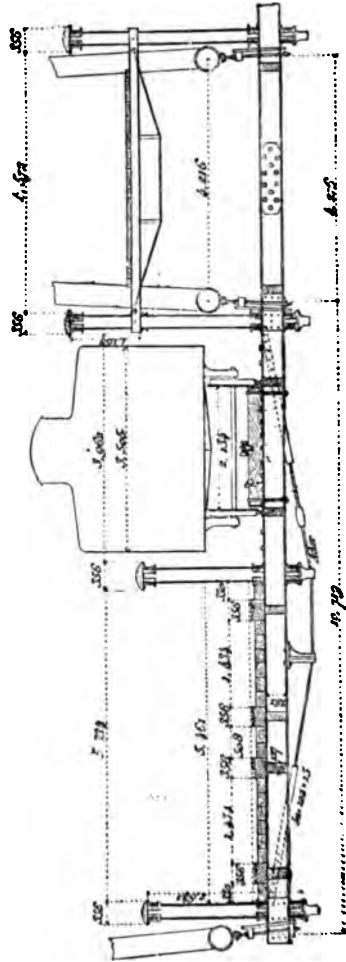


Fig. 18. — Coupe d'une moitié du pont d'East-River. 1re et 2e. Voie charretière. — 3e. Voie ferrée. — 4e. Passerelle au milieu pour les piétons.

Le travail dans l'air comprimé n'est pas trop pénible pour les ouvriers, tant que la pression ne dépasse pas deux atmosphères ; mais la transition à l'air libre, et surtout la sortie du caisson est particulièrement dangereuse. Il faut sortir très lentement et attendre dans l'écluse 5 minutes environ, en évitant tout refroidissement afin de s'accoutumer peu à peu aux changements de pression ; habituellement la durée des postes ne dépasse pas 4 à 5 heures, on l'abrège même quand on travaille à des pressions supérieures à deux atmosphères. Sous l'action de ces hautes pressions, les cavités intérieures du corps se compriment, les oreilles produisent un bourdonnement

continuel très douloureux. En même temps, la voix devient nasillarde, et perd complètement son timbre normal, il est impossible de chanter et de siffler. D'autre part, la tension exagérée de l'oxygène exerce sur l'organisme des effets chimiques très graves, et les célèbres expériences de M. Paul Bert ont même démontré qu'elle agit comme un poison dans une certaine mesure. Les ouvriers chargés de ce travail doivent être d'une constitution particulièrement robuste, et d'une grande sobriété, car le moindre excès leur serait fatal.

Bacs de transbordement. — Après avoir examiné les ponts fixes qui franchissent les golfes et les vallées sans amener aucune solution de continuité sur la voie ferrée, il convient de dire un mot des procédés spéciaux auxquels on a recours pour traverser les fleuves de grande largeur, lorsque l'établissement d'un pont fixe deviendrait trop difficile ou dispendieux eu égard à l'importance du trafic.

On construit parfois des ponts de bateaux que les trains peuvent franchir sans interruption dans certaines conditions spéciales, ou bien, comme c'est le cas le plus général, on emploie des bacs à vapeur qui servent à transporter séparément les wagons d'une rive à l'autre pour éviter les transbordements des marchandises. Quant aux voyageurs, ils abandonnent complètement, en arrivant au fleuve, le train qui les a amenés pour en reprendre un autre sur la rive opposée.

La première solution présente l'avantage qu'elle n'oblige pas à décomposer le train ; mais elle a l'inconvénient de gêner la navigation sur le fleuve, et on n'y a guère recours d'ailleurs que si celui-ci présente de nombreux bas-fonds et n'a pas un tirant d'eau suffisant pour un grand bac. En outre, un pont de bateaux qui s'élève ou s'abaisse nécessairement avec le niveau des eaux entraîne de nombreuses difficultés pour le raccordement avec les extrémités de la voie sur la terre ferme.

Les bacs de transport, qui prennent en Angleterre le nom de *floating railways*, ou de *ferry-boats*, et en Allemagne celui de *Traject-Ansalt*, se rencontrent beaucoup plus fréquemment, dans

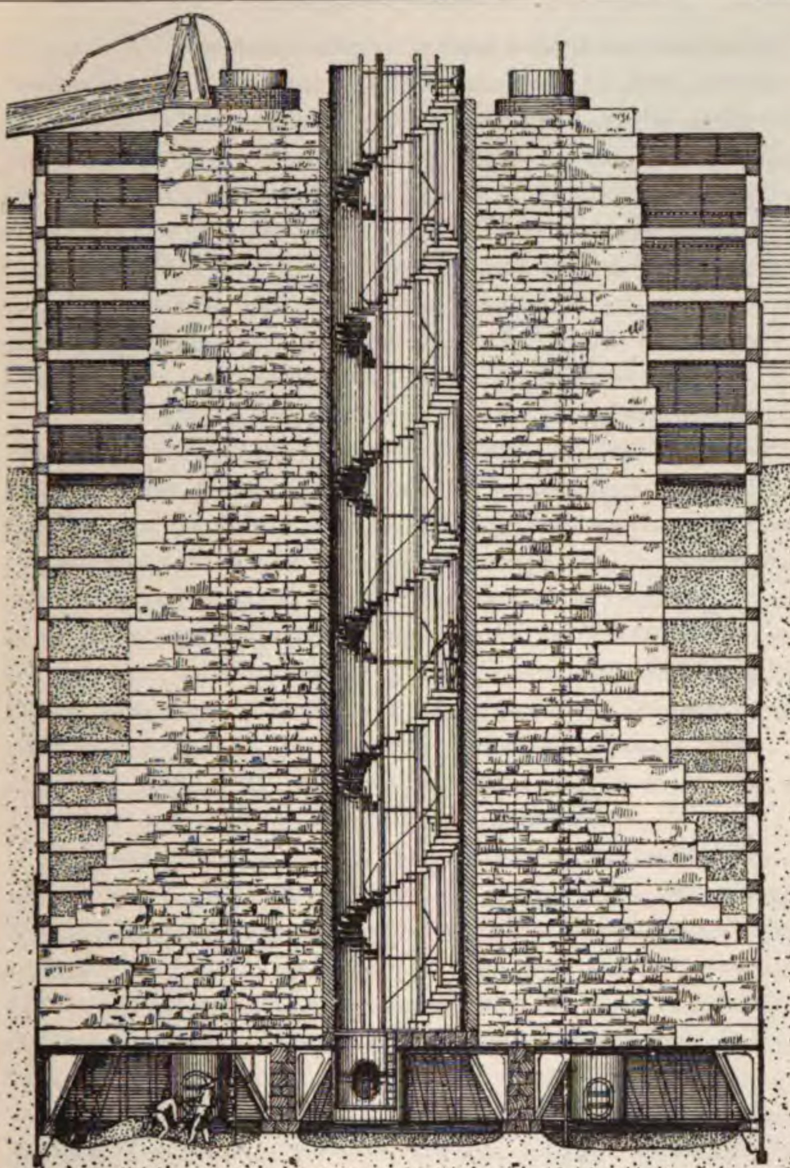


Fig. 19. — Travaux de fondation, par l'air comprimé, des piles du pont de Saint-Louis sur le Missisipi.



la première de ces deux contrées surtout à cause des nombreuses découpures qui sillonnent les côtes. Ces golfes ou *firths,* sur lesquels on construit actuellement des ponts fixes, ont été desservis longtemps par des floating-railways, et on en rencontre encore aujourd'hui sur le *firth of Forth*, le *firth of Tay*, en attendant la reconstruction du pont écroulé, etc... En Allemagne, la grande largeur du Rhin près de son embouchure a empêché la construction de ponts fixes dans la partie inférieure de son cours, et ce sont toujours des bacs à vapeur qui effectuent la traversée de Clèves à Zevenaar, d'Osterath à Essen, de Ruhrort à Homberg.

Les variations inévitables du niveau du plan d'eau obligent à recourir là, comme pour les ponts de bateaux, à des dispositions spéciales pour faciliter le passage des wagons de la voie ferme sur les bacs qui doivent les transporter ; seulement on peut les emmener par groupes et employer des ascenseurs hydrauliques, comme on l'a fait par exemple à Ruhrort et à Homberg. Chacune de ces stations possède en effet un accumulateur Armstrong, renfermé dans les deux belles tours qui dominent le fleuve, et qui sert à soulever les monte-charge des wagons. Il est actionné par une machine à vapeur de 30 chevaux.

Le bac employé là pour le transbordement est un bateau à roues qui peut recevoir douze wagons environ.

Dans ces dernières années, on a beaucoup augmenté les dimensions de ces bacs afin d'emmener à la fois un plus grand nombre de wagons, et de simplifier les manœuvres ; nous citerons, par exemple, le grand *ferry-boat* du lac de Constance qui fait la traversée de Friedrichshafen à Romanshorn. Ce bac a 70 mètres de long, 12 mètres de large, et un tirant d'eau de $7^m,80$, il peut emmener douze wagons par voyage. Il est divisé par des cloisons en neuf compartiments étanches qui peuvent être au besoin remplis d'eau, s'il est nécessaire, en amarrant le bateau sur la rive, pour l'amener au niveau de la voie ferme.

En 1880, on a construit en Amérique un bac tout à fait curieux en raison de ses dimensions réellement énormes, et qui est aujourd'hui le plus grand du monde, car il est le seul qui

puisse emmener à la fois un train tout entier avec sa locomotive.

Ce bac porte le nom de *Solano*, il a été construit par la Compagnie du *Grand Central Pacifique* qui n'en est plus à compter maintenant avec les projets audacieux après avoir terminé cette grande ligne du Pacifique qui traverse de part en part le continent américain. Le *Solano* est en service à l'embouchure du Sacramento, dans la baie de Carquinez en Californie; il transporte les trains allant de Benicia à Port-Costa en suivant la ligne la plus directe pour venir de Sacramento en Californie. Cette voie, qui se prolonge jusqu'à San Francisco, forme en quelque sorte une nouvelle tête de ligne pour le chemin du Pacifique.

La longueur totale du pont du *Solano* (fig. 20 et 21) est de $129^m,23$, la largeur de la plate-forme est de $35^m,35$, le tirant d'eau en charge est de 2 mètres, et le tonnage, de 3,600 tonnes. Les deux roues propulsives ont $9^m,14$ de diamètre et portent chacune 14 aubes. Elles sont indépendantes l'une de l'autre pour faciliter la manœuvre, et chacune d'elles est mise en mouvement par une machine à vapeur verticale à balancier de la force de 2000 chevaux, et dont les pistons ont $1^m,80$ de diamètre, et $3^m,35$ de course. Les machines sont placées à la suite l'une de l'autre dans l'axe longitudinal du bateau, de manière à ménager de chaque côté l'emplacement nécessaire pour deux voies. Le pont comprend ainsi quatre voies différentes, susceptibles de recevoir à la fois quarante-huit wagons de marchandises avec leurs locomotives, ou seulement vingt-quatre voitures de voyageurs à trucks articulés dont la longueur est beaucoup plus considérable.

Le *Solano* est guidé à chaque bout par quatre gouvernails équilibrés de $3^m,50$ de long sur $1^m,67$ de large; ces gouvernails sont manœuvrés à l'aide d'appareils hydrauliques actionnés par des machines à vapeur indépendantes.

Les becs d'abordage aux deux rives, à Port-Costa et à Benicia, ont chacun $30^m,50$ de long, et pèsent 150 tonnes; manœuvrés également par des machines hydrauliques spéciales, ils fournissent les raccordements nécessaires pour amener, comme nous l'avons dit, le train sur le bac sans détacher la locomotive.

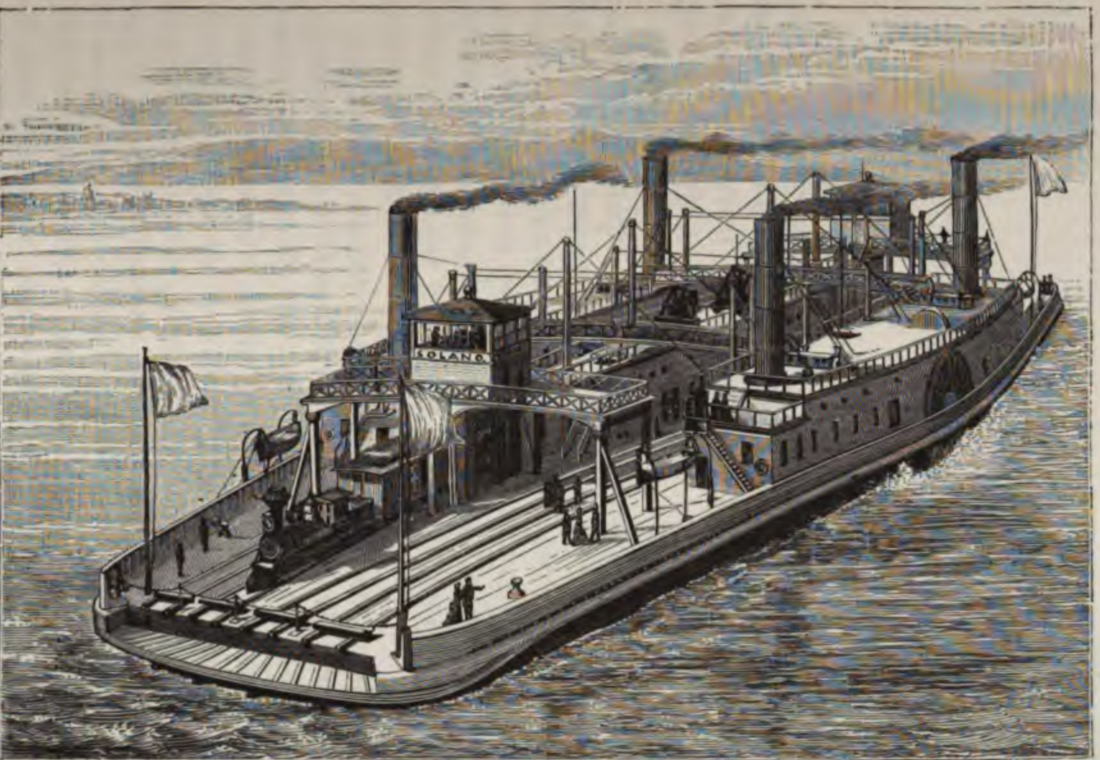


Fig. 20. — Vue extérieure du *Solano* transbordant un train tout entier.



CHAPITRE III

SOUTERRAINS ET TUNNELS.

Dans leur extension rapide, les voies ferrées, qui étaient restées confinées d'abord dans les bassins des grands fleuves, ont cherché à franchir ces limites et à réunir des vallées différentes en traversant les collines et même plus tard les montagnes qui les séparent.

On a été amené ainsi à construire ces tunnels qui excitaient autrefois l'admiration des voyageurs, et qui se rencontrent aujourd'hui si fréquemment sur les voies ferrées. Ces galeries souterraines ont reçu un développement considérable depuis l'origine des chemins de fer, et on est arrivé aujourd'hui, par l'emploi des moyens mécaniques, à exécuter, pour les construire, des travaux immenses que les anciens n'auraient jamais osé même seulement concevoir.

Toutefois, on rencontre cependant, dans les anciennes mines métalliques, des galeries souterraines dont le développement est comparable à celui des plus grands tunnels actuels, et qui constituaient certainement des travaux plus difficiles encore dans l'époque où ils ont été exécutés. C'est ainsi qu'on trouve dans les mines du Harz des galeries d'écoulement dont la longueur dépasse plusieurs kilomètres, et dont le percement a dû exiger des siècles ; car elles ont été entièrement creusées à la main à l'aide de la pointerolle, et l'avancement annuel moyen ne dépassait guère 10 mètres, comme on peut le déterminer facilement aujourd'hui d'après les inscriptions encore marquées sur les parois.

Le seul moyen qu'on connaissait alors pour désagréger la roche

consistait à *l'étonner*, c'est-à-dire à la refroidir brusquement par injection d'eau froide après l'avoir soumise à un feu aussi violent que possible. Les matières différentes qui constituent les filons métalliques éprouvaient alors un retrait inégal, et la roche ainsi fendillée s'abattait plus facilement. Toutefois c'était là un procédé inhumain, qui soumettait les mineurs à une chaleur épouvantable, d'autant plus dangereuse qu'elle était suivie d'un refroidissement subit, et les travaux des mines auraient dû être définitivement délaissés, si l'application de la poudre en 1613 n'était venue les transformer complètement.

Avec ce nouvel engin, en effet, il n'était plus nécessaire au mineur d'enlever, de broyer la roche, pour ainsi dire, sur toute la section du vide qu'il voulait pratiquer, il lui suffisait au contraire de creuser seulement certains trous convenablement espacés dans le front de taille, et d'y déposer ce produit nouveau qui possédait par son explosion subite une force suffisante pour désagréger la roche. Désormais le travail de l'homme était réduit au forage des trous de mines, et sa puissance se trouvait décuplée, pour ainsi dire, par la poudre.

La question en était là au moment de l'invention des chemins de fer, et c'est avec les procédés fournis par l'art des mines, forage à la main, et emploi de la poudre, que furent construits tous les premiers tunnels des voies ferrées.

En dehors du percement proprement dit, la disposition des travaux et surtout le mode de soutènement des galeries entraînent des difficultés spéciales, dont la solution varie d'ailleurs avec la nature du terrain à traverser; mais là encore les ingénieurs des chemins de fer ont pu se borner à imiter les exemples que leur fournissaient les mineurs. Toutefois, ils ont pu construire leurs tunnels beaucoup plus rapidement que les anciennes galeries de mines, car ils ont multiplié les points d'attaque en creusant des puits intermédiaires. C'est ainsi que le tunnel de Blaisy-Bas, par exemple, qui est resté le plus important de tous jusqu'à l'achèvement des grands tunnels du mont Cenis et du Saint-Gothard, a été attaqué en plus de quarante points différents.



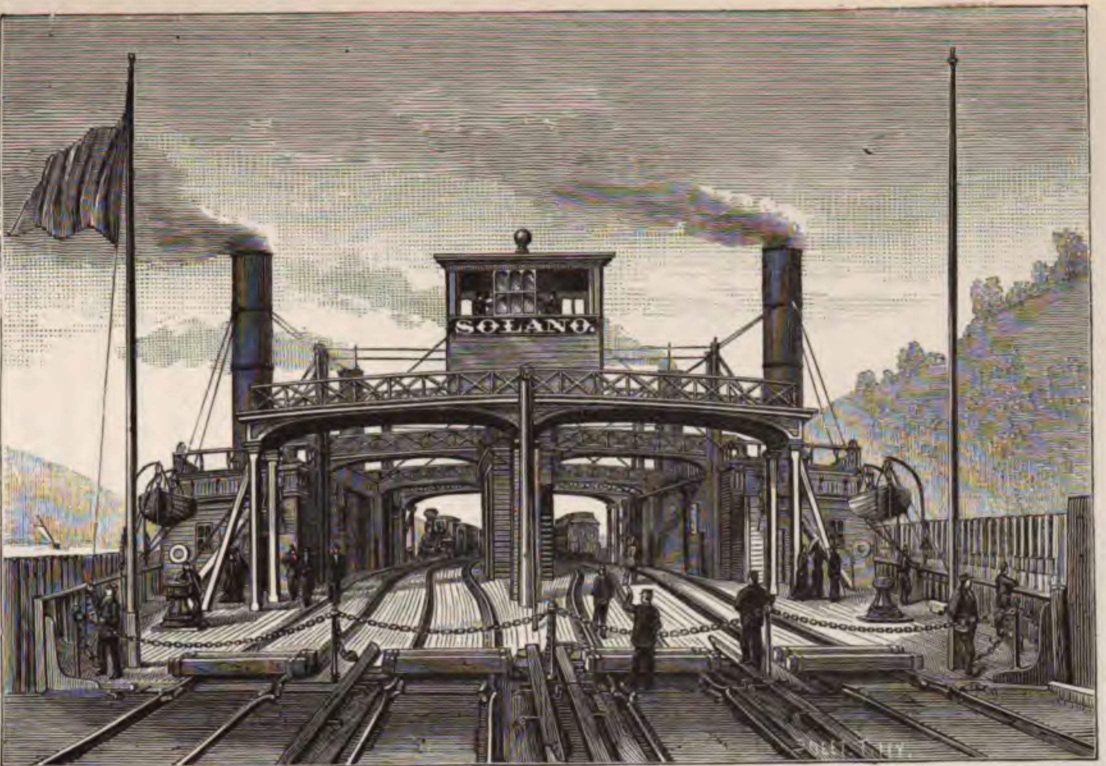


Fig. 21. — Vue du pont du *Solano* au moment de l'arrivée d'un train sur le bateau.

Les tunnels sont devenus aujourd'hui très multipliés, et il nous est impossible de citer même ceux dont la longueur dépasse 2 kilomètres par exemple. Les plus connus sont, en France, les tunnels de Rilly de 3,500 mètres de longueur sur la ligne de Reims, celui du Credo (3,900 mètres) sur la ligne de Lyon à Genève, celui de la Nerthe (4,620) sur la ligne de Lyon à Marseille, celui de Blaisy-Bas (4,100) ; en Italie, les tunnels des Apennins (3,100), de Giovi (3,255) sur la ligne de Turin à Gênes, etc.

Tunnel du mont Cenis. — Mais ce fut autre chose lorsque les voies ferrées voulurent traverser les grandes chaînes de montagnes qui étaient restées jusque là comme un obstacle invincible interceptant toute communication entre les peuples qu'elles séparaient. On ne pouvait pas songer à s'élever au sommet des Alpes, par exemple, car toute voie qu'on voudrait établir disparaîtrait fatalement sous l'abondance des neiges aux grandes altitudes ; il faudrait la recouvrir par un véritable tunnel de plusieurs kilomètres de longueur formé de boisages serrés posés à la surface, comme on en trouve de nombreux exemples sur le chemin de fer du Pacifique par exemple ; mais ces abris si dispendieux seraient impuissants contre les tourmentes et seraient entraînés avec les grandes avalanches.

Il fallait donc s'enfoncer résolument dans la roche et creuser au mont Cenis, à travers la montagne, une longue galerie de plus de 12 kilomètres de longueur pour aller chercher une issue sur le flanc opposé. Les anciens procédés de percement deviennent alors complètement insuffisants, même avec l'abatage à la poudre, il faudrait plus d'une génération de travailleurs pour creuser ce long souterrain. C'est pour cette œuvre réellement gigantesque qui aurait confondu l'imagination des anciens mineurs, que les voies ferrées ont apporté également une révolution complète dans les travaux de terrassement en amenant la découverte d'un moyen mécanique capable de remplacer, en le multipliant, le travail de l'homme resté nécessaire jusque-là par le percement des trous de mines. Désormais, l'ouvrier qui doit creuser la galerie n'a plus à abattre lui-même la roche comme le faisait péniblement l'an-

cien mineur, ni même à creuser les trous qui devront recevoir la charge de poudre, car il est armé d'un outil qui creuse automatiquement plusieurs trous à la fois, quelle que soit la dureté de la roche.

Dans ces conditions nouvelles, l'avancement, qui était si lent autrefois et ne dépassait pas annuellement dix à vingt mètres par an dans les mines du Harz, est devenu maintenant supérieur à un kilomètre, et le tunnel du mont Cenis a pu être percé



Fig. 22. — Chemin de fer du Mont-Cenis. — La descente des Alpes.

en 13 années avec un avancement d'un kilomètre environ par an ; la galerie de tête du Saint-Gothard, dont la longueur est de 14,920 mètres, a demandé sept ans et cinq mois seulement. Les avancements mensuels ont donc été : au mont Cenis de 71^{m},551, et au Gothard pour cette galerie 167^{m},640.

L'honneur d'avoir trouvé le moyen d'actionner l'outil perforateur au fond d'une galerie étroite pouvant atteindre plusieurs kilomètres de longueur revient au savant professeur de Genève M. Colladon, qui s'était déjà rendu célèbre par ses expériences







VUE DU CHEMIN DE FER DU MONT CENIS. LE PONT DE COMBE.

sur la transmission du son dans l'eau. C'est lui qui reconnut le premier que l'air comprimé pouvait être transporté à de grandes distances dans des conduites de faible diamètre, et sans perte de pression, de manière à exercer son effort moteur au point d'arrivée dans des conditions presque aussi favorables qu'au départ; en outre, l'emploi de l'air comprimé supprimait du même coup toutes les difficultés d'aérage des galeries, qui restaient presque insolubles autrement. L'air frais serait ainsi amené de lui-même au front de taille pour y actionner les perforateurs et prendre en même temps la place de l'air vicié aspiré au dehors par les ventilateurs disposés à cet effet; on pourrait donc utiliser sans danger les propriétés précieuses et la force d'explosion de la poudre, et diminuer d'autant le travail mécanique à effectuer.

En même temps, trois ingénieurs italiens, dont les noms à jamais célèbres sont restés attachés à l'œuvre du percement des Alpes, Germano Sommeillier, Severino Grattoni, et Sébastien Grandi, entreprenaient de leur côté des essais complets sur l'air comprimé, et le projet qu'ils formèrent à la suite de leurs recherches fut présenté au gouvernement italien et définitivement adopté en 1856. La construction des appareils de compression fut immédiatement commencée à l'usine de Seraing, et grâce aux efforts incessants des trois grands ingénieurs qui, confiants dans le succès de leur idée, supportèrent sans faiblir toutes les objections et les critiques, les travaux purent être commencés au bout d'une année environ, et le 31 août 1857, la première mine qui entamait le massif du col de Fréjus put être allumée par le roi Victor-Emmanuel lui-même. Le percement complet fut achevé le 25 décembre 1870, et le travail total avait ainsi exigé 13 années pour une longueur de 12,220 mètres.

Nous représentons dans les figures 22 et 23 différentes vues de la ligne du mont Cenis, et notamment le pont de Combe, dans la planche IV, qui forme un des plus beaux ouvrages d'art de cette ligne si pittoresque déjà. Nous donnerons quelques détails seulement sur les travaux du tunnel, et nous insisterons davantage sur

ceux du Gothard qui présentent plus d'intérêt en raison des perfectionnements apportés aux appareils de compression de l'air et de perforation.

Dans les deux cas, l'air était comprimé à la surface dans des appareils spéciaux, et au mont Cenis, amené à la pression de 5 atmosphères environ, et au Gothard 7 atmosphères.

Ces compresseurs utilisaient eux-mêmes la force motrice des chutes d'eau de la montagne. A Bardonèche, sur le versant italien du tunnel du mont Cenis, on put obtenir par la simple dérivation d'un torrent une chute de 26 mètres de hauteur nécessaire pour le fonctionnement des premiers compresseurs à choc, tandis qu'à



Fig. 23. — Chemin de fer du Mont-Cenis — La montée.

Modane on fut obligé de relever avec des pompes les eaux du torrent de l'Arc pour les remonter dans un réservoir suspendu au-dessus de l'orifice du tunnel.

Au sortir des compresseurs du mont Cenis, l'air était emmagasiné sous pression dans de grands réservoirs en tôle, puis il était amené jusqu'au fond du tunnel par une conduite formée de tubes en fonte de $0^{m},20$ de diamètre, assemblés bout à bout. En arrivant au front d'attaque, cette conduite se terminait par un raccord en caoutchouc aboutissant au perforateur.

Cet appareil se compose essentiellement d'un cylindre à l'intérieur duquel oscille un piston dont la tige est terminée par un



Fig. 24. — Vue de la perforatrice à air comprimé, employée pour le creusement du tunnel du Saint-Gothard.



fleuret. Celui-ci est projeté violemment contre la roche au moment où l'air comprimé, pénétrant dans le cylindre, vient exercer son action sur le piston. Le fleuret prend en même temps un certain mouvement de rotation sur lui-même pour ne pas se coincer dans le trou, et il doit avancer, d'autre part, au fur et à mesure de l'approfondissement. Le mouvement de recul du piston s'opère également sous l'influence de l'air comprimé alternativement admis dans le cylindre sur la face avant et la face arrière du piston. Ce mouvement de distribution pour les premiers perforateurs s'opérait dans des conditions presque identiques à celle de la vapeur dans les cylindres, nous n'y insisterons pas ici, et nous décrivons d'ailleurs plus bas, page 70, le type de distribution perfectionnée qui fut adopté au Saint-Gothard.

Une perforatrice entière comprend un certain nombre d'appareils analogues, 6 ou 9 environ comme on le voit sur la figure 26, disposés de manière à creuser à la fois autant de trous, et à augmenter ainsi la rapidité du travail. Si les ouvriers n'ont plus d'effort mécanique à dépenser, la conduite des perforateurs reste d'ailleurs très pénible, en raison de la grande quantité de poussière que le choc des fleurets soulève dans la roche, et du bruit assourdissant que ces chocs incessamment répétés déterminent dans toute la galerie.

Nous donnons en terminant ce qui a rapport au mont Cenis le tableau des avancements aux deux têtes afin de permettre de bien apprécier les progrès réalisés par l'emploi des appareils mécaniques. On voit en effet que l'avancement annuel à la main était seulement de 450 mètres, tandis qu'on a pu atteindre 1,600 mètres en employant la perforation mécanique.

TABLEAU.

NATURE du TRAVAIL.	ANNÉES.	CHANTIER — BARDONÈCHE. Progrès.	BARDONÈCHE. Total.	MODANE. Progrès.	MODANE. Total.	TOTAL pour les deux embouchures. AVANCEMENT annuel.	AVANCEMENT total.
Avancement à la main.	1857	27m28	725m00	10m80	921m00	38m08	1646m00
	1858	257 57		201 95		459 52	
	1859	236 35		132 75		369 10	
	1860	203 80		139 50		343 30	
	1861	»		193 00		193 00	
	1862	»		243 00		243 00	
Avancement mécanique.	1861	170 00	6355 25	»	4232 25	170 00	10587 55
	1862	380 00		»		380 00	
	1863	426 00		376 00		802 00	
	1864	621 20		466 65		1087 85	
	1865	765 80		458 40		1223 70	
	1866	812 70		212 19		1024 99	
	1867	824 30		687 81		1512 11	
	1868	638 60		681 55		1320 15	
	1869	827 70		603 75		1431 45	
	1870	889 45		745 85		1635 30	
Total au 26 décembre 1870.........			7080 25		5153 25		12233 55

Percement du Saint-Gothard. — Le tunnel du Saint-Gothard est destiné, comme on le sait, à relier par les vallées de la Reuss et du Tessin, l'Italie avec la Suisse et l'Allemagne. Il est établi entre les deux villages d'Airolo sur le versant italien à 1,145 mètres au-dessus du niveau de la mer, et de Gœschenem du côté suisse à une altitude de 1,109 mètres, et il doit avoir une longueur de 14,920 mètres. Cette œuvre gigantesque qu'on n'aurait peut-être jamais entreprise sans l'heureux succès du mont Cenis a dû être poursuivie au milieu de difficultés de toute nature, et elle est presque entièrement terminée aujourd'hui puisque les deux galeries d'avancement se sont rencontrées depuis le 29 février 1880. Les travaux, commencés en 1872, pourront être terminés en 1881. La courbe tracée (fig. 25) donne, pour la galerie de tête, la valeur de l'avancement annuel, et la situation au bout de chaque année, et elle permet ainsi d'apprécier les progrès réalisés dans l'emploi même des appareils de perforation mécanique.

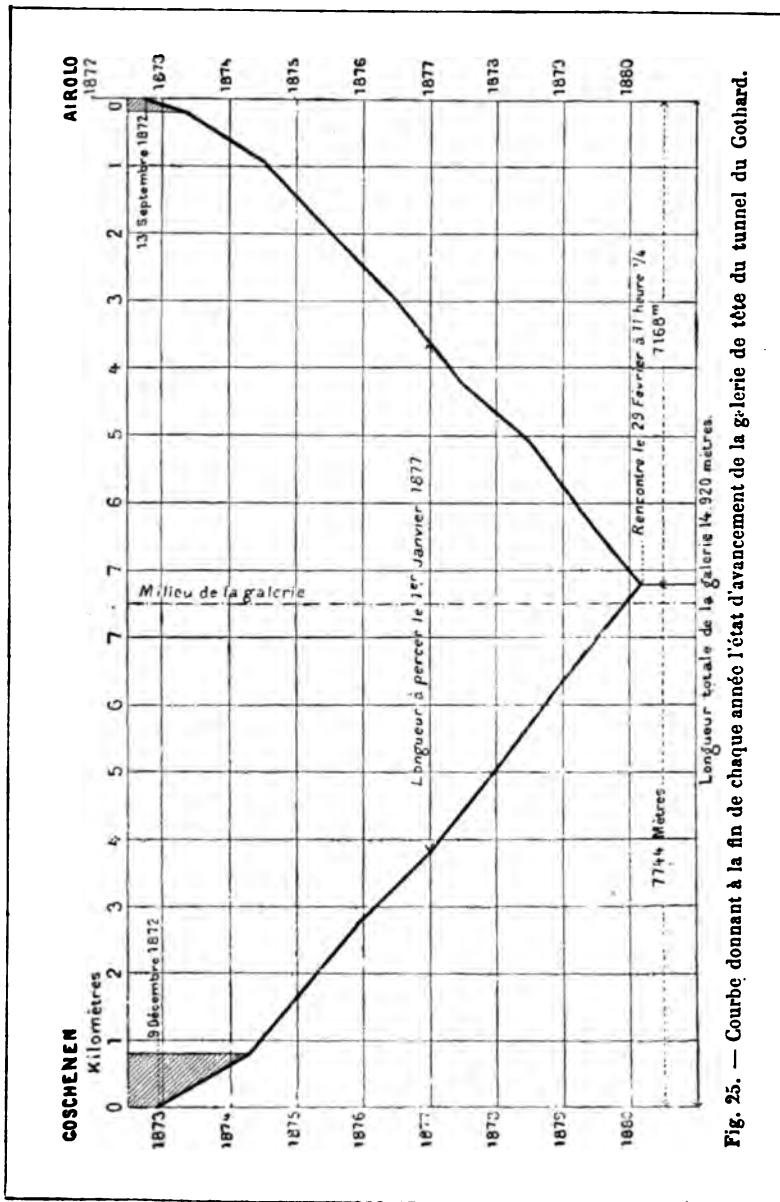


Fig. 25. — Courbe donnant à la fin de chaque année l'état d'avancement de la galerie de tête du tunnel du Gothard.

Le massif du Gothard dont nous donnons la coupe dans la figure 26, est tout entier d'origine ignée ou métamorphique, et la roche, qui est formée de granite et de schistes micacés, était particulièrement dure et difficile à travailler. En outre, les premiers travaux d'avancement furent entravés pendant longtemps, surtout par les nombreuses venues d'eau qui se déclarèrent dans les fissures de la roche et produisirent des éboulements continuels, particulièrement sur le versant italien du côté d'Airolo. Pendant 18 mois, la galerie se trouva transformée en un véritable torrent, et le volume d'eau qu'elle débita atteignit parfois 300 litres par seconde.

Il nous est impossible d'entrer ici dans tous les détails de la construction et de l'achèvement de cette œuvre énorme, nous y retrouverons d'ailleurs tous les procédés appliqués déjà au mont Cenis, et nous nous bornerons à signaler tous les perfectionnements dont ils ont été l'objet, et les appareils nouveaux qui ont été mis en application.

Les compresseurs à air furent complètement modifiés; grâce aux dernières recherches de M. Colladon, on réussit à en réduire les dimensions, tout en augmentant beaucoup la vitesse de marche, et on put supprimer l'immense colonne d'eau qu'il fallait soulever à chaque coup de piston dans les compresseurs à marche lente de Modane et de Bardonèche.

On employa de véritables pompes à air à double effet, à marche rapide, et on prévint l'échauffement de l'air, qui aurait entravé le fonctionnement des pièces, en ayant recours à des dispositions spéciales fort ingénieuses. Les pistons compresseurs furent évidés de manière à permettre à l'intérieur une circulation d'eau froide non interrompue, et munis à cet effet d'une tige creuse dans laquelle pénétrait à frottement doux un tuyau fixe amenant l'eau de canalisation.

On a pu ainsi obtenir une vitesse dix fois plus grande qu'au mont Cenis, et allant jusqu'à 80 tours à la minute. En même temps, la pression effective a été portée à 7 atmosphères. A Goeschenem, les cylindres compresseurs au nombre de quinze,

réunis par groupe de trois, avaient un diamètre intérieur de 0^m,420, et la longueur de la course du piston était de 0^m,65. On obtenait ainsi un volume de 87 litres par cylindrée, soit de 14,000 litres à la minute, et de 42,000 litres environ pour les trois cylindres, ce qui donnait 5,000 litres d'air comprimé à la pression de 7 atmosphères. Chacun des groupes de trois cylindres était actionné par une turbine de la force de 250 chevaux environ. L'eau, qui arrivait avec une hauteur de chute de 85 mètres, était recueillie à l'aide d'un barrage construit sur le lit de la Reuss au pont de Sprengibrück dans le val des Schöllenen.

En dehors des compresseurs, l'appareil perforateur proprement dit fut également l'objet de perfectionnements très importants que nous décrirons brièvement.

Dans les premiers appareils, le mouvement du tiroir était solidaire avec celui du piston, comme dans la machine à vapeur ; mais cette disposition n'était pas sans présenter

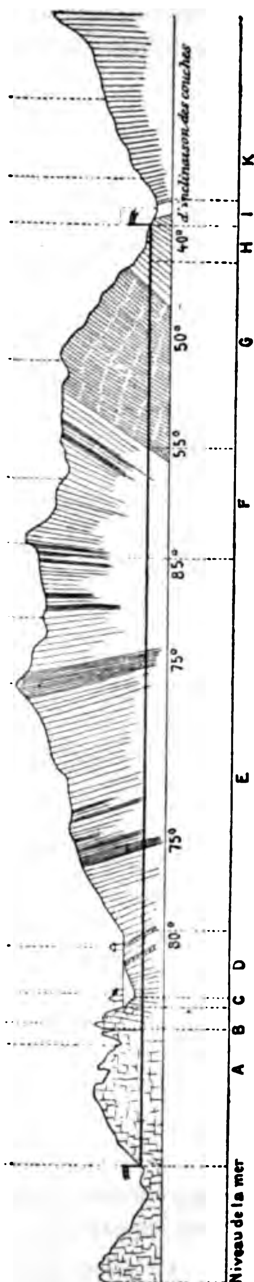


Fig. 25. — Coupe du massif du Saint-Gothard. — Échelle de 1 pour 100,000.

A 2200 mètres, granite plus ou moins homogène.
B 350 — gneiss.
C 130 — calcaire cristallin micacé.
D 870 — schistes micacés passant aux gneiss près d'Andermatt.
E 6310 — schistes micacés alternant avec des gneiss finement schisteux.
F 1680 — gneiss schisteux.

de nombreux inconvénients, car elle amène une détérioration rapide des pièces sous l'influence des réactions résultant des chocs brusques transmis par le fleuret, et elle immobilise en outre toute la machine lorsque l'outil reste engagé dans le trou qu'il a foré. Un grand nombre de types divers avaient été imaginés pour remédier à ces difficultés en réalisant une transmission exempte de liaisons rigides ; quatre seulement furent appliqués

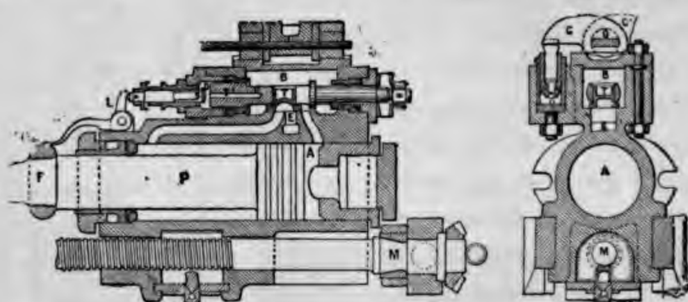


Fig. 27. — Coupe du perforateur à air comprimé, système Dubois et François.

A. Coupe du cylindre du perforateur.
B. Chambre de distribution de l'air comprimé.
T. Tiroir de distribution de l'air.
T'. Canal établissant la communication entre la chambre B et le compartiment D.
S. Soupape mue par le levier L, donnant la communication avec l'atmosphère.
M. Vis servant à régler l'avancement du perforateur.
C et C'. Cames déterminant la rotation du fleuret lorsqu'elles sont soulevées par les pistons oscillant dans les cylindres verticaux correspondants.

au Saint-Gothard : ce sont les machines Dubois et François, Turettini, Mac Kean et Ferroux ; nous décrirons seulement l'une des plus ingénieuses, la machine Dubois et François qui est appliquée également dans les travaux de mines (fig. 27).

Au-dessus du cylindre est disposée la chambre à air avec une table de friction et deux lumières alternativement ouvertes et obturées par un tiroir comme dans les machines ordinaires.

Cette chambre B (fig. 27), où l'air comprimé est admis d'une manière permanente, comme la vapeur dans la boîte de distribution, est partagée en deux compartiments par une cloison percée d'un trou dans lequel glisse la tige du tiroir. L'air comprimé peut se répandre lentement dans le compartiment de

gauche D en passant par le canal T′ ménagé dans la tige, et l'équilibre de pression peut ainsi s'établir au bout d'un certain temps dans les deux compartiments. Toutefois, tant que la pression reste plus faible à gauche, le tiroir est repoussé dans cette direction par la pression prédominante exercée à droite sur la base de la tige, et dans cette position, la lumière de droite se trouve démasquée, comme c'est la situation sur la figure. L'air comprimé se répandant dans la chambre de droite du cylindre A projette vivement le piston, pendant que l'air contenu à l'avant se rend dans l'échappement E par la lumière de gauche qui débouche alors sous le tiroir.

Pendant cette opération, l'équilibre de pression s'est rétabli dans les deux compartiments de la boîte à air comme nous le disions tout à l'heure, la pression exercée sur la base élargie de gauche de la tige du tiroir devient prédominante, et elle repousse celui-ci vers la droite. La lumière de gauche est démasquée à son tour, et l'air comprimé, admis sur la face avant, repousse le piston vers l'arrière en dégageant le fleuret.

Pour que le mouvement puisse se rétablir dans les conditions précédentes, il suffit de détruire la pression dans la chambre de gauche, afin que le tiroir soit ramené à l'avant, et découvre ainsi la lumière de droite. A cet effet, la tige du piston est munie d'un ergot F qui, dans son mouvement de retour, vient rencontrer le levier L, celui-ci en se soulevant, déplace la soupape S, et fournit ainsi une issue à l'air contenu dans la chambre de gauche. Le petit ressort ménagé sur la tige de la soupape ramène ensuite celle-ci sur son siège.

La figure, qui donne la coupe transversale de l'appareil, représente en même temps la disposition adoptée pour communiquer un mouvement de rotation alternatif au fleuret. Deux cames C et C′ sont montées sur un axe parallèle au piston, et reliées avec lui par l'intermédiaire d'un long pignon denté, elles sont commandées par deux pistons verticaux oscillant dans des cylindres correspondants, dont l'un H est seul représenté; elles sont alternativement soulevées et abaissées suivant que l'air comprimé est admis dans l'un ou l'au-

tre de ces cylindres. Cette distribution s'opère automatiquement sous l'action du fleuret lui-même qui, dans son mouvement de va et vient, commande le robinet d'admission à double voie.

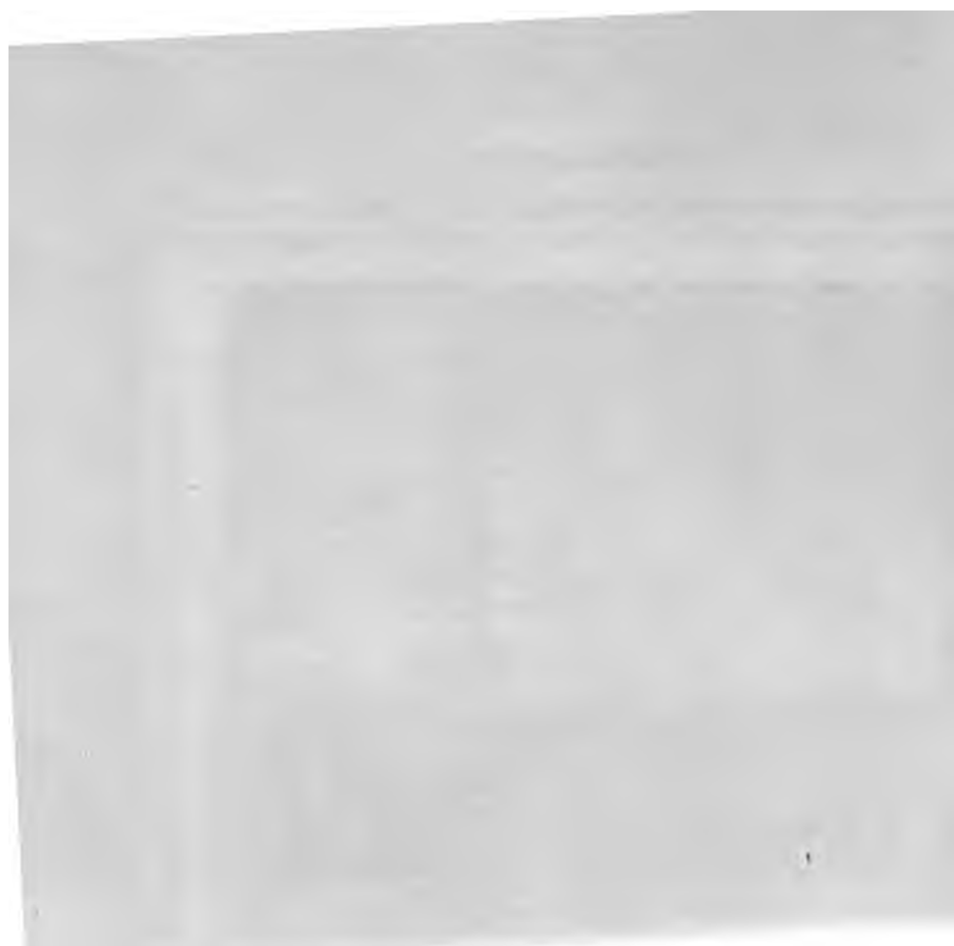
Quant au mouvement d'avancement de l'appareil devant le front de taille, on le réalise à la main en agissant sur une manivelle qui commande la vis M dont la rotation communique un mouvement de translation à son écrou solidaire avec le cylindre. Les anciennes dispositions réalisaient un avancement automatique, gradué d'après la dureté de la roche, mais on a reconnu qu'il était très difficile d'obtenir un travail régulier, et il est souvent préférable d'avancer à la main.

En dehors de ces grandes applications, l'air comprimé reçut également un nouvel emploi auquel on n'avait pas songé au mont Cenis. Il fallait en effet des locomotives pour tirer les trains chargés de matériaux déblayés; et, au lieu d'avoir recours à la vapeur, n'était-il pas plus simple en effet d'appliquer ce fluide, dont les propriétés de détente étaient analogues à celles de la vapeur d'eau, et qui ne pouvait que purifier l'atmosphère des galeries. Les deux premières locomotives à air du Saint-Gothard, la *Reuss* et le *Tessin*, furent construites absolument sur le même type que les machines à vapeur; au lieu de tender, elles furent munies seulement d'un grand réservoir rempli au préalable d'air comprimé (fig. 28).

Toutefois, on arriva bientôt à reconnaître que l'emploi de l'air comprimé dans ces conditions n'était pas sans présenter quelques inconvénients : on était obligé de réduire beaucoup la pression à l'entrée pour éviter une usure trop rapide des tiroirs; il fallait alors conserver une détente prolongée pour utiliser toute la pression de l'air avant de le rejeter dans l'atmosphère. Enfin, l'échappement de l'air du réservoir amenait une diminution continuelle de pression, tout à fait préjudiciable au bon fonctionnement de la machine. On a dû interposer à l'orifice du réservoir un régulateur disposé de manière à amener l'air toujours à la même pression dans les cylindres quelle que fût la tension initiale dans le réservoir.



Fig. 28. — Locomotive à air comprimé employée dans les travaux du tunnel du Saint-Gothard.





Tel est le but du régulateur automatique de M. Ribout dont nous allons donner la description : ce régulateur comprend un cylindre B (fig. 29), mis en communication comme on le voit, par les petites ouvertures *m*, avec le cylindre moteur proprement dit en D, et avec le réservoir par la conduite A. Le débit est réglé par un piston à fourreau L percé également de petites ouvertures *n* faisant face à celles du cylindre, et qui est soumis à l'action d'un ressort à boudin H dont la tension a été réglée à l'avance.

Celle-ci est contre-balancée par la pression du fluide qui s'exerce

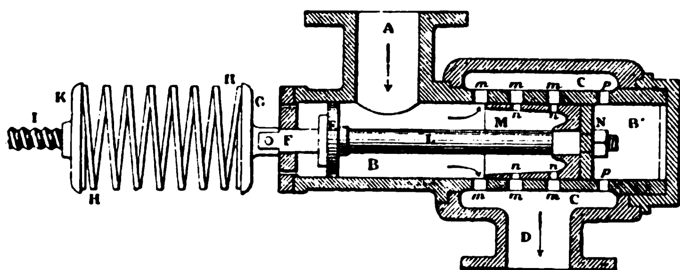


Fig. 29. — Régulateur de la machine à air comprimé du Saint-Gothard.

librement dans la chambre B sur les faces intérieures du piston de manière à le maintenir en équilibre. Le gaz peut se répandre, d'autre part, dans la chambre d'avant B' en passant par les ouvertures *mp* pour gagner de là les cylindres de la machine par le canal D, de sorte que le piston se trouve ainsi refoulé vers la gauche lorsque la pression tend à s'élever, mais par suite les ouvertures sont alors étranglées davantage, le débit dans les cylindres se trouve ainsi d'autant plus réduit que la pression est plus élevée, et le gaz qui s'échappe se trouve ramené à une tension sensiblement uniforme.

Le volume total du réservoir de ces locomotives à air est de 7 mètres cubes 50 environ, la pression de l'air, de 7^{kg},35, et le poids de la machine, de 7 tonnes.

CHAPITRE IV

RAILS ET TRAVERSES.

Largeur de la voie. — La voie ferrée est formée comme on le sait, de deux rangées de rails parallèles maintenues par des traverses à une distance invariable. Cette distance est égale à l'écartement des roues des véhicules, et celles-ci sont entourées à la circonférence d'un bandage muni d'une pièce saillante appelée *boudin* ou *mentonnet* qui déborde à l'intérieur de la voie, et prévient ainsi toute déviation.

On comprend d'ailleurs que la disposition de la voie exclut tout véhicule d'écartement différent. Afin de faciliter les échanges du matériel roulant, on a admis d'ailleurs sur la plupart des Etats d'Europe une largeur uniforme pour les voies ferrées, et on a conservé le type admis à l'origine sur les premières voies anglaises de $1^m,445$ de largeur entre les bords intérieurs des rails.

Certains Etats ont voulu néanmoins rester en dehors de cet accord, et ils ont adopté, surtout pour des considérations politiques, une largeur différente, qui étant ordinairement plus considérable, offre sans doute l'avantage d'augmenter la capacité et la stabilité en marche des véhicules, mais en entraînant également, pour la voie, des constructions plus dispendieuses. En Espagne, la largeur admise est de $1^m,80$, et en Russie, elle est de $1^m,58$.

Tous les autres Etats qui avaient adopté également à l'origine un type différent de voie, se sont trouvés obligés de placer sur leur voie large un troisième rail ayant l'écartement de la voie normale afin d'admettre tous les véhicules des pays voisins; et,

comme on a reconnu qu'il était à peu près impossible d'atteler simultanément dans un même train des véhicules de deux largeurs différentes, ils ont dû peu à peu renoncer à la voie large pour revenir définitivement au type normal.

C'est aussi la largeur qui a été généralement adoptée en Amérique ; en Norwège et dans l'Inde anglaise la voie normale présente une largeur différente de $0^m,95$, ou de $1^m,07$.

Certaines lignes secondaires, soucieuses avant tout de réduire les frais de construction et d'admettre dans l'établissement de la voie des courbes à faible rayon, ont adopté un type plus étroit ayant environ 1 mètre de largeur seulement; tel est par exemple le chemin de fer d'Anzin à Calais qui a 95 kilomètres de longueur, et celui de Beaumont à Hermes qui a 30 kilomètres.

En Angleterre, le chemin du fer de Festiniog, dans le pays de Galles, dont le trafic est si important, a seulement $0^m,65$ de largeur.

Forme du rail. — Les rails présentent deux formes distinctes, suivant qu'ils reposent sur les traverses directement, ou par l'intermédiaire de supports spéciaux. Le premier type est le rail à patin dont la base élargie trouve son point d'appui sur la traverse, et le second, le rail à double champignon, dont la base inférieure doit être logée dans un coussinet en fonte ayant la même forme.

La section du rail présente toujours une âme très amincie, avec une section qui se rapproche de celle des poutres à double té. Sous les efforts de flexion, ce sont en effet les fibres longitudinales inférieures et supérieures qui fatiguent le plus tandis que la fibre neutre située dans la region moyenne n'éprouve aucun allongement.

La section des rails est d'ailleurs arrêtée avec une précision très minutieuse, et elle est déterminée à la suite de longs calculs dans lesquels on cherche à évaluer la résistance du rail sous les différents efforts qu'il peut subir.

Le rail à double champignon était presque universellement adopté autrefois; mais on y renonce généralement aujourd'hui,

t des Compagnies de chemins de fer appliquent ac-
le préférence le rail à patin, dit rail *vignole* ou rail dont on voit un exemple dans la figure 30 représentant la coupe du rail à patin du chemin de fer du Nord.

Celui-ci est relié d'une manière invariable à la traverse sur laquelle il repose et il fait entièrement corps avec elle, tandis que le rail à double champignon laisse toujours un peu de jeu à l'intérieur du coussinet, et il en résulte au passage des trains une série de petits chocs qui maculent assez rapidement la traverse. Ce dernier type paraît présenter, il est vrai, cet avantage de pouvoir se prêter à un retournement qui en allongerait beaucoup la durée : lorsque le champignon supérieur est usé par le frottement des ro s, il est alors possible d'en faire la base inférieure, en le plaçant à son tour dans le coussinet, et de ramener sur la voie l'autre champignon resté intact.



Fig. 30. — Coupe d'un rail à patin en acier. (Chemin de fer du Nord.) Poids par mètre, 30 kil.

En réalité, tte opération ne peut guère se pratiquer sur les voies où la circulation est un peu active, car le champignon inférieur se macule également dans ses chocs continuels contre les coussinets, de telle sorte que cette forme de rail ne paraît présenter en réalité aucun avantage décisif. Nous devons ajouter cependant qu'elle a toujours été conservée jusqu'à présent par les ingénieurs anglais qui n'ont pas voulu suivre à ce sujet l'exemple à peu près unanime des autres pays, et assurent que la voie ainsi disposée adoucit sensiblement la marche de leurs trains si rapides.

Nature du métal employé. — Les rails en fonte qu'on employait à l'origine des voies ferrées ont été presque immédiatement remplacés par des rails en fer, comme nous l'avons dit plus haut : on fabriquait ceux-ci autrefois en métal puddlé et soudé ; mais on y renonce à peu près complètement aujourd'hui, et on adopte le métal obtenu par fusion, qui est connu sous le nom d'acier fondu.

Cette substitution est le témoignage le plus frappant d'un fait industriel de la plus grande importance qui s'accomplit actuellement sous nos yeux, nous voulons parler de l'emploi d'un métal nouveau, inconnu jusque là, qui remplacera définitivement le fer puddlé dans un grand nombre d'applications.

L'adoption des procédés de fusion dans la métallurgie du fer a permis de supprimer presque en entier ce travail si lent et pénible du puddlage, et comme le métal fondu présentait, d'autre part, une résistance et une ténacité supérieures à celles du fer puddlé, on n'a pas tardé à l'employer presque exclusivement malgré les craintes qu'on avait conçues à l'origine sur le défaut de malléabilité du nouvel acier.

C'est en 1858 que M. Bessemer proposa pour la première fois le métal fondu au directeur du *North Western railway*, et, comme il le rappelait en 1880 au meeting des ingénieurs civils de Londres, celui-ci refusait absolument d'en faire l'essai et affirmait qu'en employant un métal aussi cassant que l'acier, on tuerait nécessairement les voyageurs; pour triompher de ses résistances, M. Bessemer dut lui apporter un rail en acier fondu qu'il avait réussi à enrouler sur lui-même dans toute sa longueur comme un tire-bouchon. Aujourd'hui, d'ailleurs, l'expérience a montré d'une manière victorieuse combien ces craintes étaient peu fondées, la surface du monde entier va se couvrant de rails en métal fondu, et même le matériel roulant de la Compagnie du *North Western railway* est constitué en grande partie avec ce métal.

On voit en effet par les statistiques suivantes que la production des rails en fer tend à diminuer continuellement pour disparaître tout à fait.

TABLEAU.

	PRODUCTION DES RAILS						
	EN FRANCE			AUX ÉTATS-UNIS			
	1875	1877	1878	1875	1875	1876	1878
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Rails en fer........	119.384	60.351	40.933	761.062	501.649	467.168	332.287
Rails en acier.......	178.368	193.776	249.550	129.015	290,863	412.461	550.398

PRODUCTION DES PRINCIPALES USINES FRANÇAISES EN 1877	RAILS EN FER	RAILS EN ACIER
	tonnes	tonnes
Creuzot..	9.241	41.166
Usines de la Loire..	851	61.195
Usines du Gard..	1.583	20.116
Usines de l'Allier..	1.380	15.500

Indépendamment de leurs qualités physiques spéciales, les rails en acier fondu, comparés aux anciens rails en fer, présentent l'avantage d'avoir une durée indéfinie pour ainsi dire ; à cause de leur grande homogénéité, ils s'usent régulièrement d'une manière presque insensible, en conservant une section toujours semblable à elle-même, tandis que le fer puddlé retient toujours des scories qui souillent le métal. Il en résulte des exfoliations locales qui mettent le rail en fer hors de service au bout d'un temps très court, d'une dizaine d'années environ.

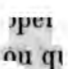
Les anciens rails en fer étaient laminés par tronçons de $4^m,50$, aujourd'hui le développement de l'outillage des usines a permis de préparer et de travailler des blocs en acier fondu d'un poids plus considérable ; la longueur ordinaire en France des rails en acier fondu et même en fer puddlé est de 6 à 8 mètres ; à l'étranger, on prend même souvent 9 à 10 mètres, et à l'Exposition de Düsseldorf en 1880, les visiteurs pouvaient admirer un rail d'acier d'une longueur de 50 mètres qui témoignait ainsi d'une ma-

nière frappante de la puissance de l'outillage de l'usine qui l'avait fabriqué.

Traverses en bois. — Les rails sont supportés, comme nous l'avons dit, par des traverses qui ont pour but également de donner à la voie la stabilité nécessaire, en transmettant au sol les vibrations qu'elles subissent.

En France, on emploie presque toujours, à cet effet, des madriers en bois dont l'essence varie suivant les localités, mais celles qu'on rencontre le plus communément sont le chêne, le hêtre et le sapin. La forme de ces madriers dépend elle-même de l'essence du bois et des procédés employés pour la conservation. C'est ainsi que les traverses en chêne non injectées sont toujours équarries, car il est nécessaire d'éliminer l'aubier. Les bois tendres, au contraire, dans lesquels on conserve l'aubier, protégé alors par une préparation spéciale, peuvent être employés demi-ronds ou équarris. La longueur de la traverse atteint presque le double de la largeur de la voie, elle est toujours de $2^m,50$, et il y a même avantage à l'augmenter pour avoir sur le ballast une base d'appui suffisante. La largeur de la section varie de $0^m,20$ à $0^m,30$, et l'épaisseur est de $0^m,15$ environ. Le volume total d'une traverse ronde est de 120 décimètres cubes, en général, et celui d'une traverse équarrie de 90. Les dimensions des traverses varient d'ailleurs avec la position qu'elles occupent sur la voie, et elles sont toujours plus considérables pour celles qui sont voisines des joints des rails.

Préparation des traverses. — Nous venons de dire qu'on était obligé de prendre des précautions spéciales pour préserver contre la pourriture les traverses une fois posées sur la voie, et enfoncées dans le ballast. Celles en chêne sont les seules en effet qui puissent résister pendant un temps un peu long, et encore est-il absolument indispensable de détacher l'aubier ; dans ces conditions, la durée moyenne peut s'élever à neuf ou dix ans; avec le sapin non préparé on peut encore obtenir quatre ou cinq ans environ; mais avec les bois blancs, comme le hêtre par exemple, il serait difficile de dépasser deux années. On a donc eu recours à des injections de



…ptiques, afin de détruire à l'intérieur du bois toutes …rmentescibles qui déterminent la pourriture. Cette ɔpeı… net de prolonger la durée de la traverse jusqu'à dix ou q… environ ; elle assure ainsi l'emploi du bois blanc, …, pour le chêne, il devient possible d'en utiliser l'aubier, qui acquiert après l'injection une résistance supérieure à celle du cœur, et même, comme il est difficile d'injecter le cœur, dont les fibres sont entièrement refermées, c'est aujourd'hui l'aubier qu'il faut préférer pour cet emploi.

Comme matières antiseptiques, on emploie le plus fréquemment le sulfate de cuivre et la créosote (huile lourde qui se dé-

Fig. 31. — Disposition d'un rail sur ses traverses avec joints en porte-à-faux. Chemin de fer de l'Est. (Les joints sont chevauchés de $0^m,600$.)

gage à 200° environ dans la distillation du goudron). On a eu recours également au chlorure de zinc et même au sublimé corrosif ; mais ces deux antiseptiques sont peu employés : le premier, malgré son faible prix, parce qu'il est peu efficace, et le second est d'un prix élevé et le maniement en est dangereux.

Pose des traverses. — L'écartement des traverses n'est pas uniforme sur toute la longueur du rail, car on a soin de rapprocher celles qui sont voisines des extrémités. Nous avons représenté sur la figure 31 la disposition adoptée au chemin de fer de l'Est ; on voit que la distance moyenne des traverses, qui est de 0,850 vers le milieu du rail se réduit auprès des joints à $0^m,600$. Ces chiffres varient d'ailleurs avec les Compagnies. Les joints des rails ne sont plus guère maintenant posés sur les traverses mêmes : on préfère souvent les mettre en porte-à-faux, en laissant toutefois moins d'écartement entre les deux traverses voisines. On obtient par là une voie plus douce, car les deux rails ainsi assemblés sont maintenus bien solidaires, et on diminue en outre les petits chocs qui se produisent toujours au moment du passage des roues au-

dessus des joints, lorsque les champignons des deux rails ne sont pas absolument à la même hauteur. Ces petits chocs entraînent d'ailleurs des ruptures fréquentes avec les joints appuyés sur les traverses, et ils sont en outre la cause principale du cheminement longitudinal des rails qu'on observe toujours dans le sens de la marche des trains sur les lignes à double voie.

Il est inutile d'ajouter que, dans la pose des joints des rails, on ménage toujours entre les deux tronçons successifs un jeu suffisant pour assurer la libre dilatation du métal à toutes les températures. On donne environ 2 millimètres en été et 4 millimètres en hiver. Autrefois, on se bornait à ovaliser à cet effet les trous des boulons d'assemblage des éclisses sur les rails; aujourd'hui, on préfère pratiquer des trous entièrement ronds, mais avec un diamètre supérieur à celui du boulon.

Les trous des joints qu'on est obligé de pratiquer dans les rails deviennent souvent une cause de rupture, surtout pour ceux en acier fondu; et les observations faites sur les différents chemins de fer, notamment à la Haute-Silésie, montrent qu'il se produit près de 70 pour 100 des ruptures aux extrémités des rails avec des joints appuyés. Comme tout changement brusque de section est dangereux avec l'acier fondu, on évite même souvent d'entailler le patin du rail pour le fixer sur les traverses, et on se contente d'employer de simples vis à bois dont la tête appuie le patin au contact de la pièce en bois. Pour prévenir le cheminement longitudinal dû au glissement du rail sur les traverses, on munit généralement les éclisses des joints de butoirs qui viennent s'appuyer contre les faces latérales des traverses voisines.

Inclinaison des rails. — Les rails ne sont pas posés horizontalement sur les traverses, on leur donne au contraire une légère inclinaison de 1/10 à 1/20 environ vers le centre de la voie, et on agit de même sur la surface de roulement du bandage afin d'augmenter la stabilité du véhicule en marche en le ramenant toujours vers le milieu, malgré le jeu inévitable de la voie. Dans les courbes à très faible rayon, ce jeu devient même nécessaire pour assurer la libre inscription des essieux.

ıs l'établissement des parties en courbes, il est nécesıer au rail extérieur un certain surhaussement pour léraillements qui se produiraient aux grandes vitesses sous ı ıon de la force centrifuge. Celle-ci se compose alors en effet avec la gravité, et, comme elle est dirigée extérieurement à la courbe, elle donne une résultante légèrement écartée de la verticale, et par suite il convient de relever le plan de la voie normalement à celle-ci. Comme cette force varie essentiellement avec la vitesse, le surhaussement destiné à la contre-balancer n'exerce exactement son effet que pour une vitesse déterminée; il serait insuffisant ou trop élevé si la vitesse de passage des trains était supérieure ou inférieure à celle-ci. Habituellement, on prévoit la vitesse la plus élevée, il en résulte alors seulement pour les trains plus lents une faible inclinaison des voitures qui n'entraîne aucun danger. Sur une courbe de 1,000 mètres de rayon, parcourue par des trains express, le surhaussement est de $0^m,07$.

Traverses en fer et voies métalliques. — La construction de la voie ferrée telle que nous venons de la décrire exige environ dix traverses en bois par rail de 8 mètres de longueur. Comme la traverse atteint toujours $2^m,50$ de long, on voit que la longueur des madriers en bois qu'il faut employer pour soutenir deux rails parallèles est de 25 mètres environ, et qu'elle dépasse ainsi celle des deux rails réunis : la voie de fer est donc constituée surtout en bois, et c'est cette matière qui représente de beaucoup la dépense la plus importante. De plus, la durée du rail en acier est presque indéfinie pour ainsi dire, tandis que la traverse en bois enfouie dans le ballast, exposée à toutes les intempéries, se pourrit assez rapidement, malgré toutes les précautions qu'on a pu prendre pour la préserver, et le remplacement en est difficile et dispendieux.

Dans son remarquable rapport sur l'Exposition des chemins de fer en 1878, M. Jacqmin n'évalue pas à moins de 2,563,000 le nombre des traverses dont les Compagnies de chemins de fer ont eu besoin pendant le cours d'une seule année, en 1877, pour l'entretien et la réfection de leurs voies ; la consommation kilomé-

trique est de 93 traverses environ, et la consommation journalière de 7,000; il faut abattre ainsi, pour y subvenir, plus de 700 beaux arbres par jour, en supposant qu'un arbre puisse fournir dix traverses. Enfin, la construction de 20,000 kilomètres de voies nouvelles actuellement prévues, n'exigera pas moins de vingt millions de traverses nouvelles, soit deux millions d'arbres.

On voit par là quelle effrayante consommation de bois entraînent l'entretien et la construction d'un chemin de fer, qui devient ainsi, après la métallurgie au charbon de bois, et les travaux de soutènement des mines, l'agent le plus actif du déboisement de nos forêts. Il y aurait donc un grand intérêt à supprimer l'emploi des traverses en bois pour les remplacer par des traverses entièrement métalliques; on créerait ainsi pour la métallurgie un débouché très important et devenu d'autant plus nécessaire aujourd'hui qu'elle s'est fermé à elle-même, par la fabrication des rails en acier fondu, celui qu'elle trouvait auparavant dans le remplacement des rails en fer usés.

Malheureusement, s'il est facile d'indiquer le remède et de pré-

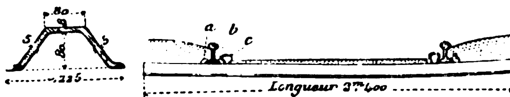


Fig. 32. — Installation de la traverse Vautherin.
Coupe de la traverse. Vue longitudinale.

coniser l'emploi des traverses métalliques, par exemple, il est bien difficile au contraire de trouver un type qui puisse remplacer effectivement les traverses en bois. C'est que, indépendamment de la liaison rigide qu'elles doivent maintenir entre les files de rails parallèles, les traverses en bois contribuent encore à donner à la voie l'assiette et la solidité qu'elle n'a pu trouver jusqu'à présent avec les traverses en métal. Le bois fait réellement corps avec le ballast qui s'infléchit avec lui sous le passage des trains, et se débourre difficilement, même lorsque l'eau vient à raviner la voie.

Cette élasticité et cette consistance ne se retrouvent plus au même degré avec les traverses en fer; car le ballast n'a plus

ec le métal, et il faut refaire la voie fréquemment, s travaux d'entretien deviennent très dispendieux. ıa les inventeurs se sont attachés avec raison à donner la traverse en fer une base d'appui aussi élargie que possible, t ils ont adopté à cet effet des formes qui se rapprochent plus ou moins de celle du trapèze. Telle est par exemple la traverse Vautherin, l'une des plus connues, que nous représentons sur la figure 32; on voit que le rail repose directement sur celle-ci, et que l'inclinaison nécessaire est obtenue par le cintrage de la traverse. Dans l'assemblage représenté, ce rail est retenu d'un côté par le crochet *a* contre lequel butte le patin, et de

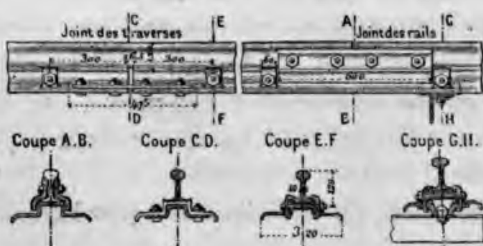


Fig. 33. — Installation de la voie métallique Haarmann.

l'autre par un crampon à coulisse chassé par une clavette élastique *c*, à deux branches et en acier trempé.

En présence des difficultés qu'on a rencontrées pour établir des traverses métalliques dans des conditions de stabilité convenables, on a eu l'idée également de recourir à une disposition différente, et de faire au contraire une voie dans laquelle le rail reposerait, sur toute sa longueur, sur des longrines métalliques ; mais cette disposition, qui entraîne des chocs nombreux et destructeurs du matériel, paraît peu applicable sur les lignes parcourues par des trains rapides.

Nous avons représenté sur la figure 33 la voie sur longrines Haarmann qui est peu connue en France, et qui paraît cependant avoir donné des résultats satisfaisants en Hollande et en Allemagne, à la suite d'une application peu prolongée encore, il est vrai. La

longrine est formée d'une cuve à bords horizontaux dont le fond supérieur sert de base d'appui au patin du rail, comme l'indique la coupe en voie normale E F. L'attache se fait par des crampons qui saisissent la face supérieure du patin et s'appuient sur les bords de la cuve; un boulon complète cet assemblage qui se répète tous les $1^m,50$ environ. La longueur de la longrine est de $8^m,991$ pour un rail de 9 mètres, de manière à éviter de mettre les joints des longrines en coïncidence avec ceux des rails. Les tronçons de rails sont réunis par des éclisses comme dans les voies ordinaires, ceux des longrines représentés sur la coupe C D, sont disposés d'une manière analogue, une éclisse repose alors sur le fond supérieur des deux cuvettes successives, et fournit au patin du rail la base d'appui nécessaire. La liaison des files de rails parallèles est obtenue au moyen de fers en cornière, rattachant les deux longrines comme on le voit sur la figure, et distant de $1^m,60$ environ.

Établissement de la voie. — Nous ne dirons rien, en dehors des travaux d'art, de la construction de la chaussée sur laquelle la voie doit reposer. Cette opération, qui est surtout une question de terrassement et de nivellement, n'a rien de spécial d'ailleurs à l'industrie des chemins de fer, et présente en outre un caractère trop technique pour intéresser nos lecteurs.

La chaussée, terminée dans les mêmes conditions qu'une voie ordinaire, ne supporte pas directement les traverses; mais on interpose une couche de ballast qui forme une sorte de matelas élastique destiné à adoucir les réactions résultant de la marche des trains. Le ballast doit se tasser en effet sous les traverses et faire corps avec elles de manière à les soulager en intéressant toute la voie aux chocs qu'elles subissent, il doit être en outre assez perméable pour que l'eau n'y séjourne jamais et ne pourrisse pas les traverses.

CHAPITRE V

GARES ET STATIONS.

Les gares de chemins de fer sont des édifices d'un caractère spécial tout à fait approprié à leur destination, et qui traduit fidèlement les idées et les préoccupations de l'époque qui les a conçues; elles sont vraiment, comme nous le disions en commençant, les monuments du dix-neuvième siècle. Elles réalisent fréquemment en effet, surtout par l'emploi des voûtes ou des toitures métalliques, un type d'architecture entièrement nouveau, ayant ses lois distinctes, et qui a servi de modèle dans toutes les constructions civiles de notre époque. Malheureusement, les gares ont copié trop souvent dans leurs façades l'ordonnance des monuments anciens, elles n'ont pas toujours su trouver une forme entièrement originale, accusant immédiatement le rôle de ces édifices nouveaux qui doivent être disposés avant tout pour recevoir des foules nombreuses.

Il n'entre pas dans notre cadre de décrire ici l'ordonnance intérieure des gares, elle est bien connue de nos lecteurs en ce qui concerne les voyageurs, et pour ce qui touche à la distribution des différents services des compagnies de chemins de fer, nous serions amené, si nous l'exposions ici, à entrer dans des détails d'organisation intérieure qui seraient trop spéciaux.

Nous signalerons seulement certaines différences intéressantes pour les voyageurs que présentent nos gares françaises avec celles des pays étrangers, et qui tiennent souvent à la différence des mœurs.

On peut dire, en général, qu'à l'étranger l'accès intérieur des gares reste presque toujours ouvert aux voyageurs qui peuvent se

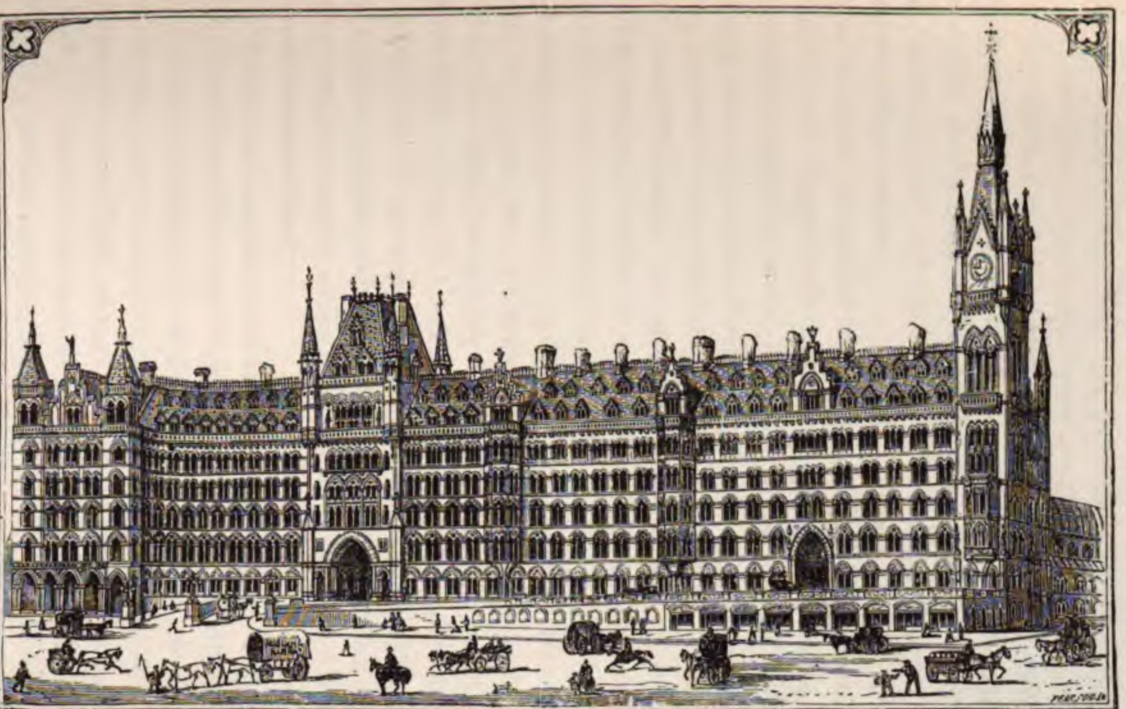


Fig. 34. — Vue extérieure de la gare et de l'hôtel du Midland à Londres.



rendre librement jusqu'aux trains, sans être retenus dans les salles d'attente comme ils le sont en France. Pour prévenir d'autre part les erreurs de direction qui pourraient en résulter dans les gares de bifurcations et correspondances, on a soin de multiplier les affiches et les indications imprimées. En France, la compagnie de Lyon est entrée dans cette voie depuis quelque temps déjà, et elle laisse actuellement dans ses gares au public une liberté d'accès très appréciée surtout des personnes qui voyagent fréquemment.

Les bâtiments des petites stations en Amérique se réduisent souvent à une simple halle couverte, où ne reside même pas toujours un agent à demeure. Les billets de chemins de fer sont en vente dans certains bureaux de la ville même, et, pour l'expédition des colis, on se contente souvent d'y attacher un simple jeton pour en indiquer la destination. Dans les stations un peu plus importantes, ce sont les agents des hôtels qui se chargent de prendre les colis dans le train, sans que le voyageur, après avoir donné son jeton, ait à s'en préoccuper. Les bâtiments des gares, en général, sont d'ailleurs souvent réduits en Amérique au strict nécessaire, et installés d'une manière beaucoup moins confortable qu'en Europe : les trains à longs parcours sont munis de wagons-lits et de restaurants, comme nous le dirons plus loin, et les voyageurs peuvent ainsi se reposer et prendre leurs repas en marche comme sur un bateau en mer, sans avoir besoin de s'arrêter aux stations.

En Europe au contraire, et surtout en Allemagne, les gares de quelque importance sont toujours munies de buffets établis dans les salles d'attente elles-mêmes, et les grandes gares renferment parfois de véritables hôtels installés souvent d'une manière très luxueuse. Telle est par exemple, en Angleterre, la gare du Midland dont nous donnons la vue extérieure (fig. 34) et qui peut loger plusieurs centaines de voyageurs.

Les quais, en Angleterre, en Hollande, comme dans certaines gares du réseau d'Orléans, sont généralement relevés jusqu'au niveau du plancher intérieur des voitures, et les voyageurs en-

rs de plain-pied dans les compartiments ; cette dispo-si amode cependant, surtout avec une circulation active, s'est pas généralisée, car elle est gênante pour les agents de gare qui doivent fréquemment traverser les voies.

La manutention et surtout l'enlèvement des colis à l'arrivée es trains s'opèrent beaucoup plus rapidement en Angleterre qu'en France, car les quais de déchargement sont alignés le long des trains, et les colis sont enlevés et reconnus immédiatement, tandis que le transbordement sur les tricycles entraîne toujours une perte de temps considérable.

De plus, en Angleterre, les colis à la main, admis en franchise avec les voyageurs, ne sont pas pesés au départ, et sont ainsi emmenés sans retard dans les fourgons. En France, on emploie maintenant dans les grandes gares des bascules à fleur de sol, et même actuellement des bascules à cadran se mettant d'elles-mêmes en équilibre, et indiquant automatiquement le poids demandé, comme celle de M. Dujour par exemple, et on a pu ainsi accélérer beaucoup les manœuvres. L'emploi des papiers à décalque sensible, en usage au chemin de fer du Nord, permet d'autre part d'effectuer en une seule fois la triple inscription nécessaire pour l'enregistrement d'un colis.

Gares de triage des wagons de marchandises. — A côté des gares de voyageurs, il convient de signaler celles de marchandises, qui acquièrent aujourd'hui une importance de plus en plus considérable. On en trouve un exemple curieux dans la grande gare de Saint-Pancrace à Londres, que nous représentons sur la figure 35, et qui est desservie, comme on le voit, par quatre voies principales pénètrant sous les bâtiments en face des quais de chargement.

La description des gares de marchandises serait d'ailleurs trop technique pour présenter de l'intérêt; nous nous attacherons de préférence aux gares de triage qui jouent actuellement un rôle essentiel dans l'exploitation. Les grandes gares de bifurcation reçoivent en effet des trains dont les wagons arrivent de directions très différentes, et doivent être ensuite dirigés de tous

côtés. Il faut alors en un mot constamment procéder à des remaniements complets, et réunir entre eux dans un même train les wagons ayant la même destination, les placer même dans l'ordre des stations pour diminuer autant que possible les manœuvres ultérieures. Ce triage s'exécutait autrefois sur certaines voies spéciales établies sans aucun plan d'ensemble, dont la disposition entraînait des déplacements incessants des wagons, avec des manœuvres continuelles longues et pénibles.

Aujourd'hui, le développement du trafic et l'établissement de



Fig. 35. — Vue de la gare de marchandises de Saint-Pancrace à Londres.

lignes nouvelles ont multiplié également le nombre des trains et les remaniements qu'ils devaient subir, de sorte que ces manœuvres immobilisent souvent plusieurs locomotives à la fois dans une même gare. Les Compagnies ont dû modifier leurs installations primitives, et dépenser des sommes souvent considérables pour arriver à réduire, par une installation appropriée des voies, ces manœuvres si dispendieuses.

On a dû augmenter beaucoup le nombre de voies de garage, et on les a raccourcies en même temps pour que chacune d'elles ne contînt plus qu'un nombre limité de wagons faciles à manœuvrer

sans déranger les autres. On a disposé ainsi en Angleterre de petites voies parallèles aboutissant toutes à leurs extrémités sur deux grandes voies de garage, et formant ce qu'on appelle un *gril* (fig. 36). Le train à décomposer est amené sur l'une des grandes voies A, on répartit les wagons d'après leur destination



Fig. 36. — Disposition d'un gril de manœuvre pour les gares de triage.

sur les voies diagonales B, et le train reformé est évacué par l'autre grande voie.

En France, M. David a imaginé une disposition très ingénieuse qui exige peut-être un peu plus de place, mais qui permet d'autre part d'isoler complètement les wagons.

Sur la voie principale établie parallèlement aux quais de chargement, sont disposées, comme on le voit sur la figure 37, cinq grandes plaques tournantes A, autour desquelles rayonnent six pe-

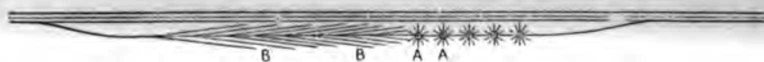


Fig. 37. — Disposition adoptée par M. David pour simplifier les manœuvres dans les gares de tirage.

tites voies de garage d'une longueur de 10 mètres au moins, suffisantes pour renfermer chacune un wagon. On range sur ces voies les wagons destinés aux stations pour lesquelles il n'y en a pas plus d'un à expédier, et on peut ainsi les prendre sans déranger les autres. Les branchements plus longs B, ménagés de part et d'autre de la voie principale, reçoivent à la fois deux ou trois wagons, destinés à une même station, qu'on peut emmener également sans difficulté. Les plaques tournantes doivent être espacées de 28 mètres au moins et présenter un diamètre supérieur à $5^m.60$, pour que les douze voies rayonnantes puissent aboutir sans s'entre-couper sur la circonférence de la plaque.

TROISIÈME PARTIE

LE MOTEUR MECANIQUE.

CHAPITRE PREMIER

LES PROGRÈS DE LA LOCOMOTIVE DEPUIS STEPHENSON.

La voie métallique telle que nous venons de la décrire sans cahot ni ornière, comparée aux anciennes routes de terre, décuplait pour ainsi dire la puissance des moteurs animaux employés jusque-là; mais elle ne suffit pas encore à elle seule pour expliquer l'immense supériorité des chemins de fer; car celle-ci est due surtout à l'emploi d'un moteur spécial utilisant une force incomparablement plus puissante. La locomotive peut traîner aujourd'hui sur la voie ferrée des trains dont le poids atteint parfois 600,000 kilog. et dépasser dans son élan rapide et continu la vitesse des meilleurs chevaux lancés au galop. C'est donc surtout ce moteur nouveau qui caractérise les chemins de fer, qui perdraient sans lui la plus grande partie de leurs avantages, et c'est à lui que nous allons nous attacher maintenant pour en donner brièvement la description et montrer, pour ainsi dire, cette force cachée qui l'emporte si rapidement dans l'espace.

Toutefois, nous croyons nécessaire auparavant d'esquisser les traits principaux de sa glorieuse histoire, nous le verrons naître et grandir pour ainsi dire, nous verrons comment on est arrivé à discipliner la force merveilleuse de la vapeur, en l'appropriant aussi complètement au rôle nouveau qu'elle avait à remplir.

[illegible]r, bi[illegible] qu'elle soit née d'hier, la locomotive a son histoire comm[illegible] ut[illegible] les grandes inventions, et le premier chercheur qui a conçu la voiture à vapeur, était loin de prévoir toutes les transformations qu'elle devait subir plus tard, pour arriver par un développement graduel et progressif jusqu'à nos types modernes si différents cependant des grossières machines de Cugnot et de Savery.

La locomotive résume ainsi en elle les travaux d'une foule de savants, de constructeurs et d'ingénieurs qui sont venus apporter leur concours à l'œuvre commune, et ont modifié, qui, un simple détail, d'autres un organe essentiel ; mais ils sont arrivés ainsi à constituer cet ensemble si bien approprié que nous admirons aujourd'hui. Si la grande figure de Stephenson, qu'on pourrait réellement appeler le père de la locomotive, rejette dans l'ombre celles de tous ses autres collaborateurs, nous n'en devons pas moins signaler la part de tous les chercheurs ignorés ou méconnus parfois, qui ont préparé ou perfectionné l'œuvre du grand ingénieur.

Et parmi eux nous ne comprenons pas seulement les inventeurs proprement dits, mais aussi les constructeurs et les ouvriers eux-mêmes qu'il convient, dans une mesure convenable, d'associer à la gloire de Stephenson. Si, en effet, leur concours n'a pas exercé toujours une influence aussi apparente, celle-ci n'en fut pas moins décisive pourtant, car les difficultés qu'on éprouvait autrefois dans la préparation des pièces mécaniques ont seules empêché souvent bien des inventeurs de réaliser leurs conceptions. Watt lui-même s'est trouvé arrêté dans ses recherches, faute d'avoir, dans la machine qu'il voulait construire, un cylindre bien circulaire par exemple, un piston ou une garniture bien étanche ; la vapeur se répandait alors pendant la marche dans les deux compartiments du cylindre ou même dans l'atmosphère, sans produire ainsi tout son effet utile.

Toutes les pièces devaient alors être travaillées à la main, l'habileté de l'ouvrier exerçait une influence considérable, et le résultat obtenu ne répondait pas toujours à l'attente de l'inventeur ; aujour-

d'hui, au contraire, la construction d'une machine aussi compliquée qu'une locomotive ne présente plus aucune difficulté dans les grands ateliers, car ceux-ci sont pourvus de puissantes machines outils capables de dresser ou d'ajuster en peu d'instants, s'il est nécessaire, toutes les pièces, qu'elles qu'en soient les dimensions; le montage s'opère sans aucune hésitation ; les pièces frottantes glissent librement les unes sur les autres, et on ne redoute plus les fuites de vapeur, malgré les hautes pressions qu'on admet maintenant.

L'inventeur n'a donc plus à se préoccuper des difficultés de la construction, et on peut dire vraiment que les progrès ainsi apportés dans le travail manuel ont exercé une influence énorme sur les découvertes théoriques elles-mêmes.

Les premiers essais. — Dès que la machine à vapeur perfectionnée par Watt fut devenue d'un usage industriel, beaucoup d'inventeurs songèrent à tirer parti de la nouvelle machine pour la locomotion. Papin et Savery, dans leurs premiers essais, avaient déjà entrevu ce problème, et pressenti en quelque sorte cette application dès le commencement du dix-huitième siècle; mais la question n'était pas encore mûre même pour une première tentative, et ils n'ont rien essayé, d'ailleurs, ni l'un ni l'autre, pour réaliser leur idée.

La première expérience sérieuse sur les voitures à vapeur paraît avoir été entreprise en 1769 par un officier français nommé Joseph Cugnot, et la machine qu'il construisit put fonctionner dans les rues de Paris en présence du duc de Choiseul.

Cette voiture était une sorte de chariot ayant une roue à l'avant et deux à l'arrière. La première était la seule motrice, et elle était actionnée par deux petites machines à simple effet qui recevaient la vapeur d'une chaudière commune. Le mouvement était transmis par l'intermédiaire de tiges à rochets, et il pouvait être renversé quand on voulait faire aller la machine en arrière.

La voiture de Cugnot, qui est en quelque sorte l'ancêtre de nos locomotives, est actuellement déposée au Conservatoire des Arts et Métiers, et on peut encore en admirer aujourd'hui la construction

soignée, véritable preuve du talent de l'ingénieur français qui attacha le premier son nom à l'histoire de la locomotive.

C'est un Américain, Olivier Evans, né en 1755 à Newport (Delaware), qui eut l'honneur de comprendre le caractère essentiel des locomotives; il montra qu'elles doivent déployer un grand effort sous un faible volume, en tirant parti de toute la force d'expansion de la vapeur, et qu'elles sont ainsi essentiellement des machines à haute pression. Il construisit une machine sans condensation qui était une espèce de bateau monté sur quatre roues mises en mouvement par l'intermédiaire de poulies et de courroies commandées par le balancier moteur. Cet étrange véhicule, qui reçut le nom d'*Oruktor amphibolis*, mettait en marche une dragueuse qui devait nettoyer les bassins des quais de Philadelphie; mais il ne fut jamais appliqué sur une voie ferrée.

Evans fut également le premier qui entrevit la révolution que la machine nouvelle devait amener avec elle : « Un temps viendra, disait-il, où l'on voyagera d'une ville à l'autre dans des « voitures mues par des machines à vapeur, et dépassant en vitesse le vol des oiseaux. Des voyageurs partis de Washington « le matin, pourront déjeuner à Baltimore, dîner à Philadelphie, « et souper à New-York le même jour. »

On voit par là que dès le commencement du dix-neuvième siècle on était déjà en possession des deux éléments essentiels d'un chemin de fer : la voie ferrée, et la machine à haute pression ; toutefois, il s'écoula bien des années encore avant qu'on songeât à les réunir tous deux dans une même application. Les inventeurs qui s'occupèrent de la locomotive, jusqu'à Georges Stephenson, cherchaient tous une voiture à vapeur capable de marcher sur les routes ordinaires, et ceux qui construisaient les voies ferrées ne voulaient pas y appliquer d'autres moteurs que les chevaux. On était alors dominé, en effet, par cette idée que l'adhérence des roues d'une locomotive sur les rails métalliques était insuffisante pour entraîner une charge quelconque, et que la machine devait tourner sur place sans avancer. Cette erreur entrava les efforts de presque tous les inventeurs, et, de 1810

jusqu'à 1825, par exemple, la plupart des voitures à vapeur qui furent construites, étaient destinées à la traction sur route.

Pour le transport sur la voie ferrée, au contraire, les ingénieurs cherchaient toujours une disposition spéciale qui pût assurer à la locomotive en marche ce point d'appui que l'adhérence ne lui donnait pas. C'est ainsi que Blackinshop, en 1811, munissait la machine d'une roue dentée qui devait engrener avec une crémaillère posée à demeure sur la voie. Guillaume et Édouard Clapman avaient essayé d'arriver au même résultat au moyen d'une chaîne tendue, enroulée sur un tambour mis en mouvement par la machine; Brunton avait appliqué des jambes articulées. Toutes ces dispositions compliquées avaient l'inconvénient de gêner et surtout de ralentir beaucoup la marche de la locomotive, et celle-ci ne donnait ainsi aucun résultat supérieur aux autres moteurs.

Cependant, Trévithick et Vivian avaient déjà construit, en 1804, une machine à simple adhérence, mais cet essai était resté inaperçu, et c'est seulement en 1813 que Hedley reconnut à la suite de longues expériences entreprises à ce sujet, que l'adhérence était pleinement suffisante dans les conditions ordinaires. Cette découverte importante fixait l'un des traits fondamentaux de la locomotive, et elle conduisit en même temps à supprimer les crémaillères et les roues dentées qu'on interposait presque toujours auparavant entre le piston de la machine et la roue motrice qu'il devait mettre en mouvement. La première locomotive, le *Blucher*, construit en 1814 par Stephenson, présente encore cette disposition toutefois; mais, dans celle qu'il fit en 1815, il n'hésita pas à attaquer directement la roue motrice au moyen d'une bielle actionnée à son autre extrémité par la tête de la tige du piston.

En même temps qu'il construisait cette machine, Stephenson entreprenait au dynamomètre des expériences complètes pour déterminer l'effort de traction que la locomotive avait à développer sur les rails et sur les routes ordinaires dans les différents degrés de rampe. Il arriva ainsi à se convaincre qu'on

obtenait sur la voie ferrée un effet utile bien plus considérable que sur les routes ordinaires, et que cet effet décroissait rapidement sur une pente un peu forte ; et ce grand ingénieur, qu'on peut appeler à juste titre le fondateur des cheminsde fer, eut ainsi l'honneur de définir le premier les conditions nécessaires d'établissement de voies ferrées qui doivent avant tout rester horizontales.

Stephenson continuait d'autre part à perfectionner ses machines, et le type qu'il construisit en 1820 réalise déjà un progrès considérable sur celui de 1815. La chaudière était suspendue sur des ressorts pour amortir les vibrations; elle était traversée par un tube à fumée qui augmentait considérablement la surface de chauffe, et surtout la vapeur d'échappement sortant des cylindres était dirigée dans la cheminée pour augmenter le tirage. Grâce à cette dernière disposition, la dépression produite dans la cheminée par le passage du courant de vapeur, amène un volume d'air beaucoup plus considérable sur la grille du foyer, et elle active considérablement la combustion; l'emploi de l'échappement est un des traits essentiels de la locomotive, et il explique seul l'énorme production de vapeur de la chaudière de cette machine, comparée à son faible volume.

C'est à cette même époque (1825) que Timothée Hackworth construisit la première machine, le *Royal Georges*, ayant deux pistons agissant sur le même essieu, comme on le voit sur la figure 38. Cette disposition fut d'ailleurs perfectionnée plus tard, en 1828, par Georges Stephenson qui inclina les cylindres à 45° au lieu de les laisser verticaux, et il les reporta à l'arrière des deux côtés de la chaudière. Ce même type se rencontre également dans la machine *le Bon-Ami* construite en 1830, d'après les plans de Miller : les cylindres sont à l'arrière, écartés de la chaudière qui est verticale. Cette machine pouvait remorquer un train pesant 3 fois son poids, avec une vitesse de 20 kilomètres à l'heure.

Ainsi disposée, la locomotive possédait déjà la plupart des traits caractéristiques de nos machines modernes ; toutefois, malgré l'augmentation de tirage due à l'échappement, la production de



vapeur était toujours trop faible, et la puissance de la machine restait ainsi contenue dans d'étroites limites, dont elle put s'affranchir seulement grâce à la découverte d'un Français, Marc Séguin qui fit bréveter en 1827 la première chaudière tubulaire. Celui-ci avait, dans ce nouveau type, multiplié la surface de chauffe à l'infini pour ainsi dire, en reportant le foyer à l'intérieur de la chaudière, et partageant la masse d'eau à vaporiser par un grand nombre de petits tubes qui amènent ainsi les gaz chauds en contact avec l'eau en tous les points de leur parcours du foyer à la cheminée. Cette disposition essentielle augmentait dans une proportion énorme la puissance de vaporisation de la chaudière, elle constituait en un mot d'une manière définitive la locomotive actuelle. Toutefois, il ne fut pas donné à Séguin de réaliser le premier l'idée qu'il avait conçue, car les machines qu'il voulait construire ne furent terminées que longtemps après; et la ligne de Lyon à Saint-Etienne sur laquelle il voulait les mettre en service resta exploitée au moyen de chevaux jusqu'en 1833.

Concours de Rainhill. — L'honneur de construire la première machine à foyer intérieur et chaudière tubulaire, échut à Georges Stephenson qui avait réalisé déjà tant de progrès importants sur les locomotives, et c'est à l'occasion du concours de Rainhill qu'on vit se produire ce premier type de nos machines actuelles. Ce concours forme une date tout à fait mémorable dans l'histoire des locomotives et des chemins de fer, puisqu'il est réellement le point de départ de la grande extension qu'ils ont prise ; ainsi que nous le disions en commençant, il se termina par une victoire éclatante de la locomotive de Stephenson qui parvint à dépasser de beaucoup, au grand étonnement général, les conditions imposées au programme. Les directeurs de la ligne de Liverpool à Manchester étaient décidés d'abord, en effet, à employer des machines fixes avec des cables de traction, et ils n'avaient consenti à essayer les locomotives que sur les vives instances de Stephenson lui-même.

C'est alors qu'ils se résolurent à ouvrir ce concours entre les différents constructeurs, et un prix de 500 livres (25,000 fr.) fut

offert à la meilleure machine qui remplirait certaines conditions déterminées, et en particulier les deux suivantes :

1° Elle devait brûler elle-même sa propre fumée, comme l'exigeait l'acte d'autorisation de la ligne;

2° Elle devait présenter un poids de 6 tonnes, et entraîner régulièrement un train d'un poids de 20 tonnes, y compris le tender et son chargement, avec une vitesse de 10 milles (16 kilom. 6) à l'heure, et une pression de vapeur ne dépassant pas 50 livres (3 kilog. 5).

Le programme fut publié dans tout le royaume, et un grand nombre de machines furent construites par le concours; toutefois quatre seulement se présentèrent au jour fixé. C'étaient :

1° Le *Sans-Pareil* de Timothée Hackworth ;

2° La *Nouveauté* de Braitwaith et Ericson ;

3° La *Persévérance* de Burstall qui fut exclue du concours, car elle ne put atteindre la vitesse prescrite ;

4° Le *Rocket* (la *Fusée*) de Georges Stephenson.

La *Nouveauté* avait une chaudière verticale avec un foyer intérieur; elle put entraîner un poids de 7 tonnes seulement, mais elle se trouva bientôt hors de service.

Le *Sans-Pareil* avait un seul tube à fumée intérieur comme dans les anciennes locomotives, il utilisait la vapeur d'échappement pour augmenter le tirage qui était d'ailleurs beaucoup trop considérable. Cette machine n'avait pas de ressorts de suspension, et elle se trouva hors de service au bout de quelques voyages seulement.

La *Fusée* dont nous reproduisons la vue extérieure (fig. 39), comprenait une chaudière horizontale et cylindrique, traversée intérieurement par de nombreux tubes à fumée suivant la disposition adoptée déjà par Séguin comme nous l'avons dit plus haut. Cette chaudière avait 1^{m},82 de longueur et 1^{m},02 de diamètre; sur la paroi d'arrière était fixée une caisse quadrangulaire ou *poêle*, qui serait la boîte à feu de nos machines actuelles; car elle renfermait le foyer formé lui-même par une petite caisse sans fond munie d'une grille dans le bas pour soutenir le charbon. Entre les parois latérales parallèles de la boîte à feu et du foyer, Stephenson avait

conservé un espace de 76 millimètres de largeur qui restait en communication avec le reste de la chaudière par deux tubes extérieurs, et était toujours maintenu plein d'eau. Ce vide était supprimé toutefois et remplacé par une maçonnerie en briques, au bas de la paroi d'arrière, au-dessous de la porte du foyer, et à l'avant, au-dessous de la plaque tubulaire. Le ciel du foyer n'était pas recouvert d'eau; mais il ne paraît pas que cette disposition ait jamais entraîné plus tard, en service, les dangers qu'on redouterait si justement aujourd'hui, sans doute, parce que la pression était assez basse dans la chaudière, et la combustion peu active dans le foyer.

Les tubes à fumée qui traversaient le corps cylindrique pour conduire les gaz du foyer dans la cheminée étaient en cuivre, au nombre de 25, et avaient un diamètre de 76 millimètres.

L'emploi des tubes dans la *Fusée* amenait la surface de chauffe totale à $10^{mq},7$, tandis que celle de la grille était seulement de $0^{mq},55$, et la surface totale du foyer de $1^{mq},80$. On voit sur la figure que la cheminée était élargie à la base pour embrasser entièrement la plaque tubulaire d'avant, et tenir ainsi lieu de boîte à fumée.

Les cylindres étaient placés de chaque côté de la chaudière, et les deux pistons agissaient chacun par l'intermédiaire d'une bielle sur l'une des roues de l'essieu moteur. Le diamètre paraît avoir été de $0^{m},20$, et la course de $0^{m},41$.

La distribution était commandée par deux excentriques séparés agissant chacun dans un sens déterminé. Ces excentriques étaient actionnés par des tiges correspondantes que le mécanicien tirait à lui quand il voulait changer le sens du mouvement.

Les roues de la machine étaient en bois et munies de bandages en fer. Les roues motrices avaient un diamètre de $1^{m},45$, et les roues porteuses, de $0^{m},98$.

Le poids de la machine pleine était de $4^{t},5$, et celui du tender de $3^{t},25$. La consommation de coke par litre d'eau vaporisée était de $0^{k},17$, deux fois plus faible que celle du *Sans-Pareil*.

La *Fusée* fut mise en service après sa victoire sur la ligne de

Liverpool à Manchester, et Stephenson construisit d'autres machines sur le même type qu'il continua toujours à perfectionner cependant. La *Fusée* elle-même subit également des modifications importantes, si bien qu'il est difficile aujourd'hui de préciser, malgré toutes les recherches qui ont été faites à ce sujet, les véritables dimensions de ce prototype des locomotives modernes. Elle

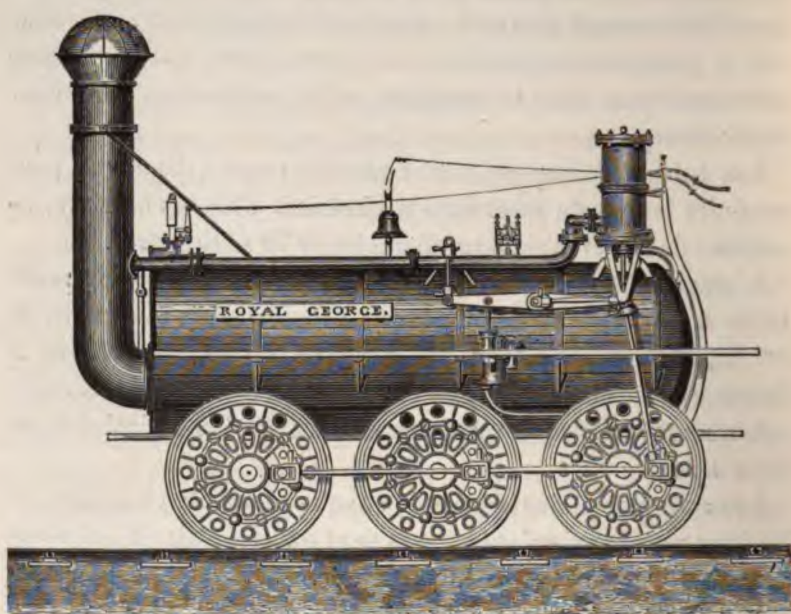


Fig. 38. — Vue de la locomotive le *Royal George* construite en 1825 par Timothée Hackworth.

ne resta pas d'ailleurs constamment sur la ligne de Liverpool, elle fut vendue à diverses reprises, et acquise finalement par M. Thomson qui la céda à Robert, fils de Georges Stephenson ; et ce premier spécimen de la machine qui a exercé la plus grande influence sur notre civilisation contemporaine est exposé actuellement au Musée de Kensington.

Perfectionnements qui ont suivi le concours de Rainhill. — Après la *Fusée*, les traits principaux de la locomotive sont

fixés désormais, et en dehors de la distribution par détente variable, nous aurons peu de découvertes nouvelles à signaler. Les véritables progrès s'accomplissent dans les ateliers de construction et s'appliquent surtout sur des points de détail ; tous les organes de la machine sont mieux étudiés, mieux proportionnés afin d'arriver à faire de la machine ce merveilleux ensemble si bien approprié que nous admirons maintenant..

La première locomotive à six roues fut construite par

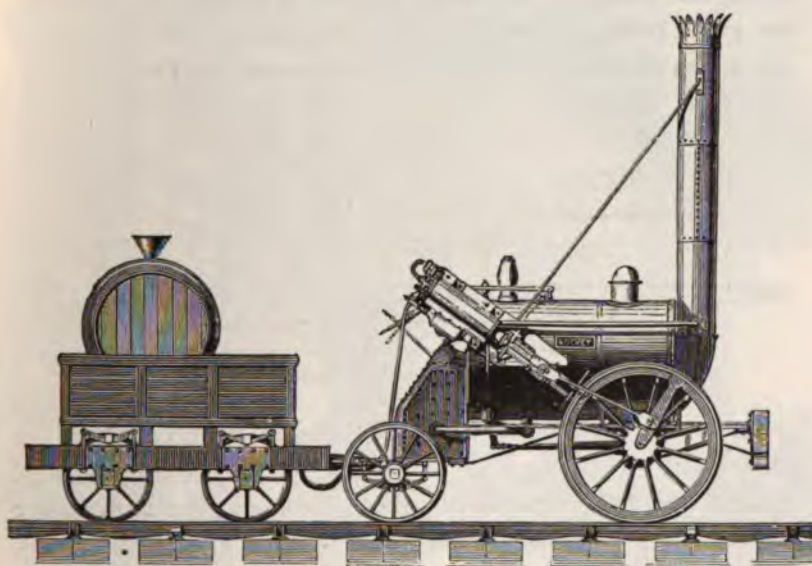


Fig. 39. — Vue extérieure de la locomotive de Stephenson, la *Fusée* (Rocket).

Stephenson en 1833, un troisième essieu fut ajouté par lui à l'arrière du foyer pour diminuer le poids supporté par les rails, sous chaque essieu. Cette disposition permit en même temps d'allonger la chaudière pour augmenter la surface de chauffe, et par suite la puissance de la machine.

La chaudière de la machine construite en 1830 présentait déjà une longueur de 9 pieds ($2^m,74$) ; Stephenson donna 12 pieds ($3^m,66$) à celle de 1842, la première qui ait reçu l'application de la célèbre coulisse. Enfin il augmenta de même

le diamètre des roues motrices afin d'amplifier la vitesse.

Les roues motrices des machines de 1832 avaient 4 pieds ($1^m,22$) de diamètre, mais plus tard, vers 1850, on atteignit 5, 6 et même 7 pieds, $1^m,10$, $1^m,32$, $1^m,52$, comme dans le type resté célèbre de M. Crampton (fig. 40) qui permit de réaliser la plus grande vitesse qu'on ait encore obtenue jusque là. L'essieu moteur était reporté, dans ce cas, derrière la boîte à feu afin de ne pas trop relever le centre de gravité de la chaudière. La machine Crampton est restée encore en usage de nos jours pour les trains rapides; seulement on y renonce peu à peu en raison des exigences croissantes de l'exploitation;

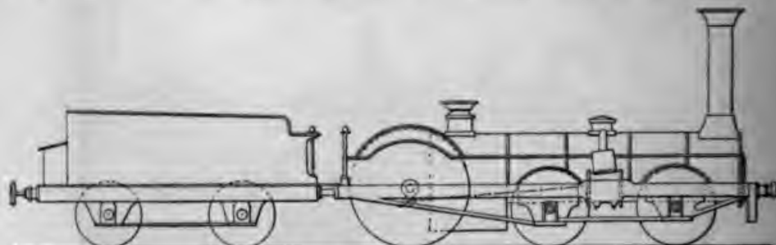


Fig. 40. — Vue extérieure d'une machine Crampton.

car elle ne fournit pas un effort suffisant pour entraîner un train un peu lourd.

C'est vers 1840 également qu'on rencontre pour la première fois les tubes en laiton, les roues en fer à rais plus résistantes que les roues en bois, les soupapes à boulet remplaçant les soupapes coniques qui se coinçaient parfois sur leurs sièges, les conduites métalliques avec rotules d'assemblage pour amener l'eau du tender à la chaudière, etc...

La distribution de la vapeur qui était une des parties les plus défectueuses des premières locomotives reçut également des perfectionnements importants : on s'attacha d'abord à faciliter la commande du tiroir par les mécaniciens pour permettre les changements de marche ; Baldwin à Philadelphie en 1834, et plus tard Forster à Liverpool munirent les excentriques calés sur l'essieu moteur de bras qui se

terminaient par des fourches destinées à saisir au moment convenable l'extrémité de la tige du tiroir suivant le sens de la marche qu'on voulait communiquer à la machine.

Plus tard Sharp Roberts et Stephenson imaginèrent de rattacher les extrémités des deux bras d'excentriques par la

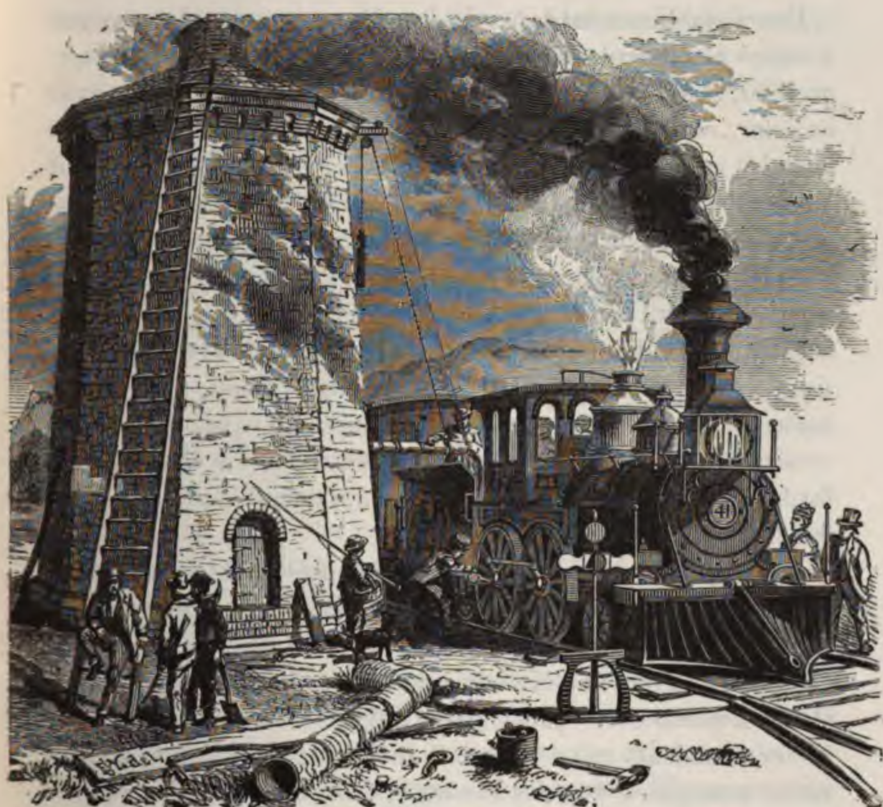


Fig. 41. — Réservoir d'eau et locomotive du chemin de fer de l'Érié.

célèbre coulisse qui porte le nom de Stephenson, et qui constitue un des progrès les plus importants qu'on ait apportés dans le mécanisme moteur de la locomotive.

On obtenait ainsi en effet un résultat capital au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur, car on pouvait varier

à volonté la détente et demander ainsi à la locomotive un effort variable suivant les circonstances, tandis que jusque là, la détente et par suite la proportion de vapeur admise dans le cylindre pour chaque course du piston était fixée une fois pour toutes d'après les dimensions données au tiroir en construisant la machine.

Pour l'établissement de la voie, le poids croissant des locomotives a obligé à augmenter le poids des rails qui était de 10 à 15 kilogr. en 1830, et qui atteint aujourd'hui 30 à 36 kilog. avec des rails en acier, ce qui correspondrait à un poids de 40 kilog. environ pour les anciens rails en fer. Malgré ces précautions, on a dû augmenter le nombre des essieux pour ne pas faire porter à chacun d'eux un poids supérieur à 13 tonnes. On renonça d'ailleurs complètement aux locomotives ayant seulement deux essieux; car on reconnut les dangers de cette disposition dans le terrible accident survenu en 1842 sur la ligne de Versailles : une locomotive en marche dont l'essieu d'avant s'était rompu, n'étant plus soutenue que sur l'unique essieu restant, fut entièrement renversée sur la voie, et un incendie allumé par les charbons du foyer se communiqua au train arrêté qui devint bientôt la proie des flammes.

Les locomotives construites depuis 1842 présentent toujours trois ou quatre essieux et même quelquefois davantage. Pour les machines à voyageurs, on accouple généralement deux de ces essieux en réunissant par une bielle rigide les tourillons des manivelles. Cette disposition ne paraît pas d'ailleurs entraîner en service les inconvénients qu'on redoutait autrefois : on craignait que les roues accouplées, dont les bandages s'useraient inégalement, ne pussent conserver rigoureusement le même diamètre ; elles tourneraient alors avec des vitesses différentes, et amèneraient ainsi la rupture des bielles. Cet accident ne se produit guère toutefois, si on a soin de surveiller les bandages et de les rafraîchir aussitôt que la différence d'usure devient un peu sensible.

On va même plus loin aujourd'hui, et on accouple trois et même quatre essieux pour augmenter le poids adhérent, et obtenir ainsi

un effort moteur plus considérable. Cette disposition qui donne à la machine une base d'appui élargie, tout à fait rigide, crée toutefois des diffificultés spéciales pour le passage dans les courbes de faible rayon, comme il s'en rencontre un si grand nombre aujourd'hui, surtout sur les lignes nouvelles. On a tranché la difficulté en ramassant les essieux sous le corps cylindrique de manière à réduire autant que possible l'empatement; on a essayé

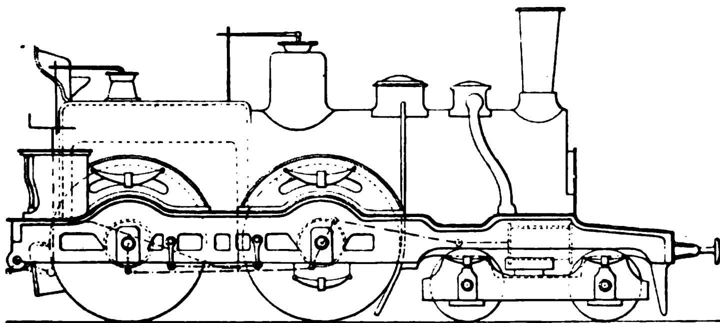


Fig. 42. — Vue extérieure de la machine express du chemin de fer du Nord à deux essieux accouplés avec boggie à l'avant, qui figurait à l'Exposition de 1878.

également de donner un certain jeu, une certaine liberté d'oscillation à l'essieu d'avant, par exemple, afin qu'il puisse obéir plus facilement à l'impulsion du rail au moment de l'entrée en courbe. Dans d'autres cas, on a eu recours pour les essieux porteurs, à un truck articulé appelé boggie, analogue à celui des voitures américaines, et qui est formé d'un petit châssis porté sur quatre et quelquefois sur deux roues; ce truck pivote autour d'une cheville fixée au bâti de la machine, et il s'inscrit librement dans les courbes. Il se place ordinairement à l'avant des machines et c'est la disposition, représentée dans la figure 41, qui est généralement admise aux États-Unis, on en trouve aussi un exemple d'ailleurs sur la figure 42 représentant la machine express du chemin de fer du Nord qui figurait à l'Exposition universelle de 1878. On rencontre aussi quelquefois le boggie à l'arrière, dans certains types de machines contemporaines.

En dehors de ces dispositions les plus simples, on en a imaginé plusieurs autres qui étaient toutes également destinées à augmenter l'effort moteur de la locomotive afin qu'elle pût fournir un effort suffisant pour assurer la traction des trains sur les fortes rampes. C'est là un problème d'une solution particulièrement difficile, car l'effet utile de la locomotive décroit rapidement sur les rampes, et d'autre part, en augmentant le nombre des essieux accouplés, on enlève à la machine la flexibilité dont elle a besoin pour franchir les courbes à faible rayon. Toutefois la question présente une importance très considérable, surtout pour les lignes de montagnes, comme celles qui traversent les Alpes. Nous citerons pour

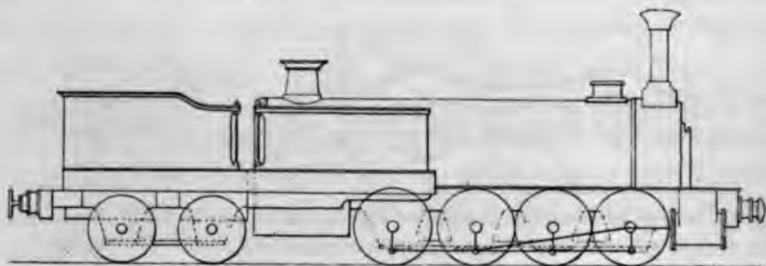


Fig. 43. — Machine Engerth à 4 roues accouplées et tender articulé devant le foyer.

exemple, la ligne des Semmring en Autriche qui a des pentes de 35 millimètres par mètre.

Cette ligne, l'une des premières qu'on ait construites avec une inclinaison aussi prononcée, présente une célébrité particulière, car elle fut l'occasion d'un concours analogue à celui de Rainhill dans lequel on espérait découvrir le type de machine le mieux approprié au rôle nouveau qu'elle avait à remplir. Le prix, d'une valeur de 2,400 ducats, fut gagné par la locomotive la *Batavia* construite à Munich ; cette machine présentait en effet un poids adhérent considérable, obtenu en accouplant avec les essieux moteurs par l'intermédiaire de chaînes et d'engrenages, les essieux du train articulé d'avant, de même que ceux du tender ; mais elle ne put donner en service de résultats satisfaisants, car les chaînes et surtout les dents se rompaient continuel-



lement. Du reste, le concours du Semmring n'a révélé aucun type nouveau, et d'ailleurs, la solution qu'il cherchait de concilier l'adhérence totale avec la convergence des essieux moteurs paraît à peu près irréalisable, et la plupart des essais entrepris jusqu'à présent à cet effet ont échoué plus ou moins complètement.

M. Engerth avait essayé de relier les essieux du tender à ceux de la machine par des engrenages, mais on dut y renoncer également, et les machines du type Engerth telles qu'elles ont été modifiées depuis, sont seulement caractérisées aujourd'hui par le pivot d'articulation reporté devant la boîte à feu, et autour

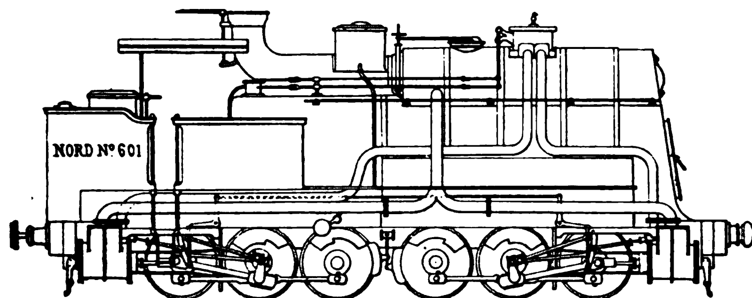


Fig. 44. — Locomotive à 4 cylindres et 6 essieux accouplés, essayée au chemin de fer du Nord.

duquel oscille le tender (fig. 43), une partie du poids de celui-ci se trouve ainsi reportée sur les essieux moteurs.

D'autres constructeurs ont cherché une solution un peu différente, en conservant aux roues motrices leur liberté d'oscillation. M. Fairlie est l'auteur d'un type de machine dans lequel le mécanisme moteur tout entier est porté sur un truck mobile pouvant osciller librement par rapport à la chaudière. Cette disposition qui supprime toute difficulté d'inscription en courbe, entraîne, d'autre part, des complications spéciales pour le raccordement des tuyaux de conduite de vapeur allant de la chaudière aux cylindres, il faut conserver, en effet, un assemblage entièrement étanche tout en laissant cependant à la partie mobile une grande liberté de déplacement.

Au chemin de fer du Nord, M. Petiet avait imaginé une solution très originale dans les machines à quatre cylindres. Celles-ci comprenaient (fig. 44) deux machines accouplées pour ainsi dire, ayant chacune leurs deux cylindres et leur mécanisme moteur spécial; et comme les deux châssis pouvaient osciller l'un par rapport à l'autre, le passage en courbe s'opérait comme pour une petite locomotive, bien que l'effet moteur fût ainsi presque doublé.

Ces solutions compliquées sont totalement abandonnées aujourd'hui, à part le type Fairlie, qu'on rencontre encore sur certaines lignes anglaises; on est revenu aux dispositions les plus simples, et on se contente, comme nous l'avons dit, d'accoupler quatre essieux, s'il est nécessaire, pour avoir un effet moteur suffisant.

Dispositions actuelles. — Les types actuels présentent certains caractères particuliers qu'il est intéressant de signaler. Les modifications apportées principalement dans le foyer par exemple, ont permis de brûler des combustibles de toutes qualités, et de réaliser ainsi des économies très considérables.

Aux anciens foyers profonds et étroits dans lesquels on ne pouvait brûler que du coke, on a substitué peu à peu des foyers moins hauts mais beaucoup plus larges, sur la grille desquels on a brûlé d'abord des briquettes, et on arrive même à passer aujourd'hui des charbons menus. Le combustible est alors étalé sur la grille en couche très mince, et la plus grande partie de la chaleur dégagée est utilisée comme chaleur rayonnante.

En outre, la pression normale dans la chaudière a été augmentée dans une proportion considérable pour utiliser sur une plus large étendue l'effort d'expansion de la vapeur, et on rencontre aujourd'hui des chaudières timbrées à 10 ou 12 atmosphères, tandis qu'on ne dépassait guère 6 dans les anciens types.

En terminant cette revue rapide des progrès de la locomotion, nous devons signaler également le célèbre appareil d'alimentation dû au génie de M. Giffard, et qui est universellement appliqué aujourd'hui.

L'injecteur Giffard utilise directement, comme on sait, la



vapeur empruntée à la chaudière, pour y refouler l'eau qu'il aspire. Le jet de vapeur qui vient se dégager dans l'appareil, crée par son passage à l'orifice du tuyau de prise d'eau du tender, un certain vide qui détermine l'aspiration de l'eau, celle-ci vient se mélanger à la vapeur et produit en la condensant une sorte de courant mixte qui possède encore une force d'impulsion suffisante pour soulever le boulet d'entrée d'eau malgré la pression résistante de la vapeur de la chaudière. Ce merveilleux appareil dont le fonctionnement est absolument parfait, puisqu'il n'entraîne aucune perte de force par frottement de pièces mobiles, comme pourrait le faire un mécanisme quelconque, excita dès son apparition le plus vif étonnement, et aujourd'hui encore la théorie mécanique de la chaleur, malgré tous les progrès dont elle a été l'objet, fait plutôt entrevoir la possibilité qu'elle ne montre la nécessité de l'introduction de l'eau dans des conditions pareilles.

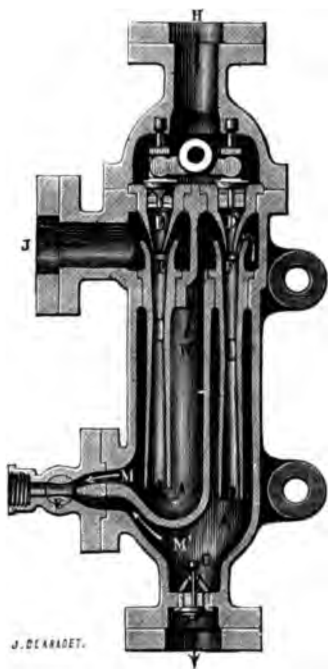


Fig. 45. — Coupe de l'injecteur à eau chaude de M. Körting.

H. Prise de vapeur.
D D'. Prise de vapeur.
J. Prise deau.
M. Soupape de refoulement.

L'injecteur Giffard a porté dans le monde entier la renommée de son illustre inventeur ; car les avantages qu'il présentait l'ont amené à se substituer rapidement, et dans toutes les contrées, aux anciennes pompes alimentaires employées autrefois sur les locomotives. Toutefois, tel qu'il était disposé à l'origine, il conservait certains inconvénients qui avaient obligé à conserver sur les machines une pompe à côté de l'injecteur pour assurer sûrement l'alimentation.

On est arrivé à réduire aujourd'hui la plus grande partie de ces difficultés, surtout avec les injecteurs en charge qui suppriment les aiguilles mobiles et les tâtonnements inévitables pour la mise au point au moment de l'amorçage. Enfin les nouveaux injecteurs admettent de l'eau ayant une température élevée, tout à fait incompatible avec le bon fonctionnement du type primitif, et ils ont ainsi permis de tirer un parti beaucoup plus avantageux de la vapeur d'échappement qu'on n'avait pu le faire auparavant, puisqu'on a pu s'en servir pour réchauffer l'eau d'alimentation. Tel est le cas, par exemple, pour la pompe injec-



Fig. 46. — Vue de l'injecteur Hamer et Davie fonctionnant avec la vapeur d'échappement.

A. Prise de vapeur.
B. Prise d'eau.
D. Trop-plein.
C. Conduite de refoulement dans la chaudière.

teur Chiazzari qui alimente sans difficulté à 90°, ou pour l'injecteur Körting dont nous reproduisons une coupe dans la figure 45 et qui est en réalité un appareil double comprenant un second injecteur qui refoule l'eau aspirée par le premier. Cet appareil peut encore alimenter avec de l'eau échauffée jusqu'à 50 ou 60°. M. Mazza est arrivé à construire un injecteur qui utilise directement la vapeur d'échappement dont l'impulsion vient s'ajouter à celle de la vapeur de la chaudière, et il atteint ainsi une température de 60° pour l'eau d'alimentation. MM. Hamer et Davie ont même construit un injecteur plus curieux encore, car il peut alimenter en empruntant uniquement la vapeur

d'échappement, sans avoir recours à celle de la chaudière (fig. 46).

Ce dernier appareil n'est pas applicable sans doute sur les chaudières et locomotives, car il ne peut pas refouler l'eau sous une pression supérieure à 3 ou 4 atmosphères. Toutefois, même dans ces conditions, il n'en reste pas moins étonnant de voir que l'alimentation peut s'opérer néanmoins, bien que la pression de la vapeur motrice soit inférieure à celle de la vapeur résistante. M. Giffard avait déjà d'ailleurs entrevu ce fait dans une certaine mesure, et il avait constaté dans ses premières expériences sur l'injecteur, qu'il pouvait en être ainsi aux hautes pressions avec une différence de 2 à 3 atmosphères seulement.

CHAPITRE II

MACHINE ET TENDER.

La locomotive. — Description sommaire. — La locomotive est une machine à vapeur qui doit se transporter elle-même en remorquant une charge donnée sur une voie ferrée; elle comprend trois parties essentielles :

La *chaudière* ou appareil producteur de la vapeur ;

Le *mécanisme* qui a pour but d'opérer la distribution de la vapeur dans les cylindres de la machine proprement dite, et de transmettre aux roues motrices le mouvement du piston ;

Le *véhicule* qui supporte la chaudière et le mécanisme.

Ces trois parties sont distinguées pour la commodité de l'explication ; mais, en réalité, dans une locomotive, elles sont essentiellement dépendantes et connexes entre elles; elles doivent former un ensemble dont toutes les parties soient bien harmonisées et se prêtent un mutuel concours.

La chaudière. — La chaudière est une caisse en tôle de forme généralement cylindrique, où est renfermée l'eau à vaporiser. Ses parois intérieures sont disposées de manière à former une enceinte servant de foyer, et à conduire les gaz dégagés à travers toute la masse de l'eau jusqu'à la boîte à fumée d'où ils sont aspirés dans la cheminée.

Le foyer et la boîte à feu. — Le foyer est situé à l'arrière de la chaudière; il est constitué par une caisse généralement parallélipipédique placée à l'intérieur d'une boîte spéciale de forme semblable, rattachée à la chaudière, et qui porte le nom de boîte à feu.

Le foyer est ouvert dans le bas (fig. 47 et 51), et le fond est



occupé par une grille G (fig. 47 et 48) sur laquelle on dispose le combustible. L'arrivée de l'air s'opère par les intervalles ménagés entre les barreaux, de manière à ce qu'il s'échauffe au contact des matières incandescentes et fournisse ainsi une température de combustion plus élevée. Les gaz dégagés sortent ensuite du foyer en traversant le faisceau des tubes à fumée qui débouchent sur la face avant ou plaque tubulaire du foyer. Les parois de celui-ci sont échauffées principalement sous l'influence de la chaleur

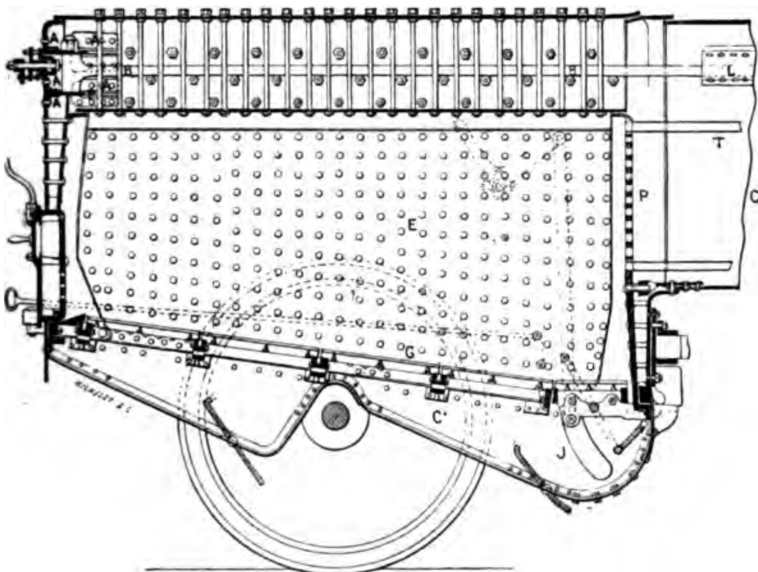
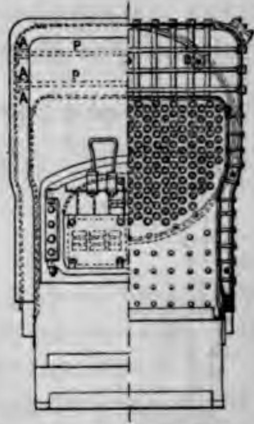


Fig. 47. — Coupe longitudinale du foyer de la machine express du chemin de fer du Nord.

rayonnée par la grille, et la vaporisation est très active dans l'espace compris entre les faces correspondantes des deux caisses. Il est absolument nécessaire de maintenir les parois du foyer et surtout la plaque supérieure formant le ciel constamment baignées d'eau, car autrement le métal se trouverait rapidement brûlé et la déchirure qui se produirait alors pourrait amener une explosion subite de la vapeur de la chaudière.

Les parois du foyer sont formées généralement par des tôles

de cuivre ; toutefois, en Angleterre et en Amérique, on emploie le fer et même l'acier doux. Ces tôles doivent être consolidées d'une manière particulièrement robuste pour pouvoir supporter sans fléchir l'énorme pression de vapeur qui pèse sur elles ; on les relie à cet effet aux parois parallèles de la boîte à feu par des entretoises vissées E (fig. 47 et 49). Celles-ci sont disposées de manière à dessiner sur la tôle autant de petits carrés de 10 centimètres de côté environ. Elles sont généralement creuses à l'intérieur afin que si l'une d'elles vient à se fendre, le jet d'eau qui se produit dans le



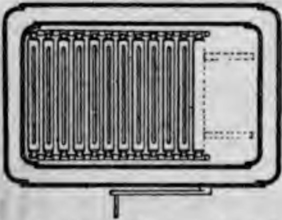


Fig. 48. — Projection horizontale de la grille du foyer avec le jette feu à l'avant.

Fig. 49. — Disposition du foyer à l'intérieur de la boîte à feu de la chaudière du Nord.

foyer par le petit trou central de la tête de l'entretoise manifeste extérieurement cet accident.

Le ciel présente souvent une forme plane, et exige également une armature spéciale. On le soutenait autrefois par des fermes transversales ou longitudinales, et on employait à cet effet de véritables poutres ; mais avec les foyers modernes, dont les dimensions sont agrandies, il est souvent préférable d'employer des tirants verticaux comme dans l'exemple représenté (fig. 49).

Le corps cylindrique et les tubes à fumée. — En dehors de la boîte à feu, la chaudière présente l'aspect d'un gros tube posé horizontalement de 4 à 5 mètres de long sur 1 m. 20 de diamètre, et qui prend le nom de corps cylindrique. En Amérique, celui-ci porte généralement un raccordement incliné qui le relie à la boîte à feu. On voit un exemple de cette disposition dans les



fig. 50 et 51 où nous représentons les coupes du foyer de la machine du *Philadelphia and Reading Railway* qui a figuré à l'Exposition de 1878. Le foyer qui est en acier et chauffé à l'anthracite, présente une chambre de combustion derrière la plaque tubulaire.

Le corps cylindrique renferme l'eau à vaporiser, et il est traversé en même temps par un faisceau de petits tubes T au nombre de 150 à 200 environ qui reçoivent les gaz brûlés sortant du foyer (fig. 47 et 51). Ces tubes sont destinés, comme nous l'avons dit plus haut, à multiplier dans une grande proportion la surface de chauffe en amenant les gaz chauds en chacun des points de la masse liquide.

En raison de sa forme régulière, le corps cylindrique n'a pas besoin d'aucune armature spéciale, sauf pour consolider les ouvertures qu'on peut y pratiquer afin de loger le régulateur R ou le dôme D par exemple. Malgré cette difficulté, on conserve souvent le dôme, car la vapeur qu'on y puise est plus sèche que dans le reste de la chaudière. Autrement, on dispose quelquefois pour recueillir la vapeur, un tuyau horizontal posé le long de l'arète supérieure du corps cylindrique et fendu par le haut sur toute sa longueur ; le passage de la vapeur à travers les bords rétrécis de cette fente prévient dans une certaine mesure l'entraînement des gouttes d'eau. Le tuyau employé dans la chaudière du Nord est percé à cet effet à l'extrémité, de petites fentes longitudinales qui lui donnent dans le dôme l'apparence d'une lanterne.

La boîte à fumée, qui présente dans nos machines françaises la même section que le corps cylindrique, dont elle est le prolongement, sert à recueillir les gaz sortant des tubes à fumée ; elle supporte la cheminée et reçoit également la tuyère d'échappement E. Celle-ci, qui joue un rôle important dans la distribution, est disposée, comme on sait, de manière à diriger dans la cheminée la vapeur qui sort des cylindres, après avoir produit tout son effet mécanique, afin qu'elle active ainsi le tirage.

Une grille à mailles serrées est toujours placée en France à la naissance de la cheminée dans la boîte à fumée pour arrêter les flam-

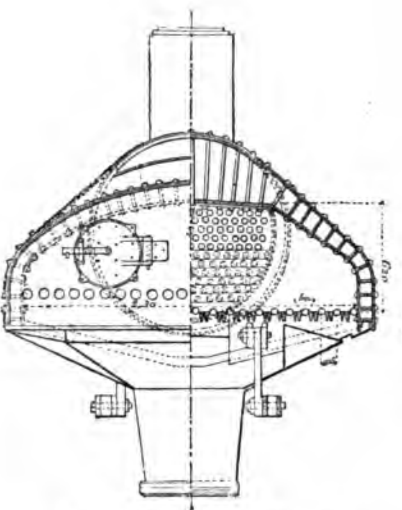


Fig. 50. — Coupe transversale.

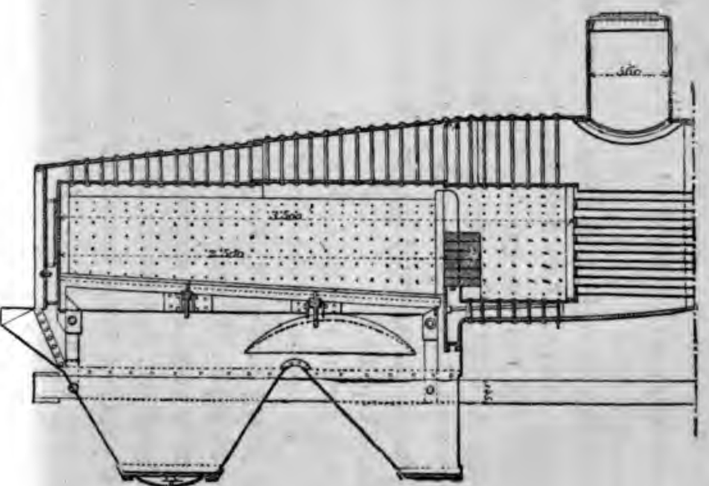


Fig. 51. — Coupe longitudinale.

Coupe du foyer de la machine du *Philadelphia and Reading Railway* qui figurait à l'Exposition universelle de 1878.

mèches entraînées, et empêcher qu'elles n'arrivent à l'air libre.

Appareils divers de sécurité. — Nous rappellerons seulement sans les décrire les divers appareils de sécurité dont les chaudières de locomotives doivent être munies, car les prescriptions sont les mêmes pour les chaudières des machines fixes.

La locomotive possède un manomètre placé à l'arrière, à la vue du mécanicien, indiquant à chaque instant la pression dans la chaudière en même temps que la limite qu'elle ne doit pas dépasser, de manière à ce que ce dernier soit toujours prévenu, et puisse éviter sûrement tout excès dangereux.

En outre, deux soupapes de sûreté, placées sur la chaudière,

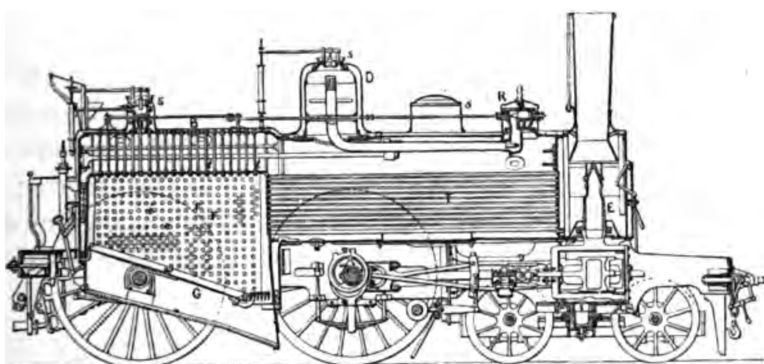


Fig. 52. — Coupe longitudinale de la machine express à boggie du chemin de fer du Nord.

dont une au moins doit être hors de la main du mécanicien, sont en état d'assurer l'écoulement de la vapeur quelle que soit l'activité du feu, aussitôt que la pression dépasse le timbre normal fixé lors de l'essai de la chaudière.

De plus, celle-ci est munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau afin que le mécanicien sache continuellement quel est le niveau dans la chaudière, et puisse ainsi s'assurer qu'il est toujours plus haut que le ciel du foyer.

Un bouchon en métal fusible est placé dans la plaque du ciel pour assurer l'extinction du feu si le niveau venait à s'abaisser d'une manière dangereuse.

Signalons enfin le sifflet à vapeur qui sert au mécanicien à transmettre les signaux nécessaires aux conducteurs du train, ou aux aiguilleurs et agents de la voie.

Au-dessus de la chaudière, est disposé une sablière, comme on

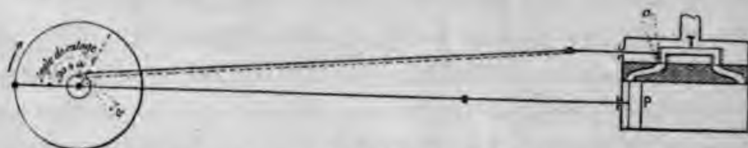


Fig. 53. — Diagramme représentant la distribution de la vapeur avec un tiroir sans recouvrement ayant une avance à l'admission égale à a.

le voit sur la figure 52 en S : celle-ci est formée par une boîte pleine de sable reliée à un tuyau recourbé qui descend le long et à l'avant de la roue motrice pour aboutir jusqu'aux rails. Le mécanicien ouvre cette boîte et jette du sable sur la voie lorsque les rails sont un peu gras et que l'adhérence devient insuffisante ; les roues tourneraient alors sur place et la machine patinerait sans avancer ; le sable forme au contraire une surface rugueuse, la roue engrène en quelque sorte avec le rail, comme une roue dentée sur une crémaillère, et le patinage se trouve ainsi arrêté.

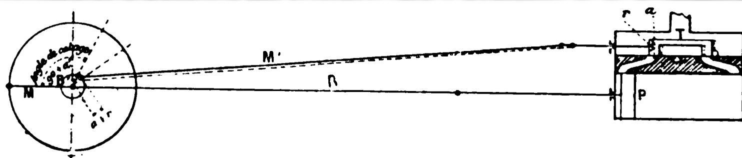


Fig. 54. — Diagramme donnant la distribution de la vapeur avec un tiroir ayant un recouvrement extérieur r, et une avance à l'admission a.

Appareil moteur de la locomotive. — L'appareil moteur de la locomotive forme une véritable machine à vapeur à deux cylindres avec tout un mécanisme de distribution, un ensemble d'excentriques, de bielles et de manivelles destinées à transmettre aux roues motrices le mouvement des pistons dans les cylindres.

La distribution de la vapeur s'opère là d'après les mêmes principes que dans une machine fixe, et nous n'y insisterons pas autrement ; nous reproduisons seulement dans les fig. 53, 54 et

56 trois diagrammes au moyen desquels nos lecteurs pourront retracer eux-mêmes les phases principales de la distribution avec un tiroir ayant une avance à l'admission a, un recouvrement extérieur r, et par suite un angle de calage égal à $90+a$, et nous ajouterons quelques détails sur l'emploi de la coulisse à détente variable qui est plus spéciale aux locomotives.

Supposons que le piston soit immobile au milieu de sa course, (fig. 56), et n'ayant par suite aucune tendance à se déplacer plutôt vers la droite que vers la gauche, il suffira d'agir sur le tiroir pour déterminer le sens du mouvement. Si le tiroir qui découvrait d'abord par exemple la lumière de gauche, est déplacé de manière à découvrir celle de droite, il est clair que la pression de la

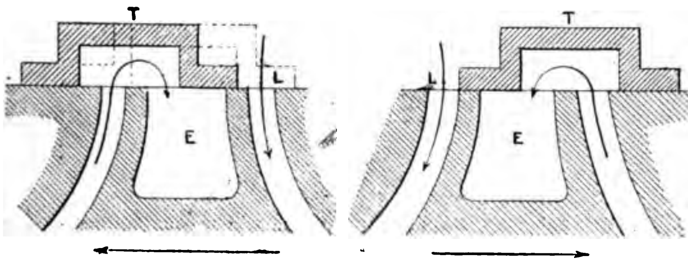


Fig. 55.

Position du tiroir déplacé pour l'admission sur la face de droite, et représenté en traits pointillés fig. 56.

Position du tiroir placé pour l'admission sur la face de gauche, et représenté en traits pleins fig. 56.

vapeur s'exercera désormais sur la face de droite qui deviendra motrice et que le piston sera repoussé vers la gauche. La manivelle, supposée verticale, tournera dans le sens AB au lieu d'aller dans celui AC. Comme rien d'ailleurs n'est changé, on voit qu'il suffit de guider le tiroir par une autre manivelle placée à l'avant de celle du piston du même angle que l'était l'autre dans le premier sens. Accrochons, en effet, la tige du tiroir en A′ au lieu de A sur le petit cercle qu'elle décrit à son extrémité, les phénomènes de distribution se reproduiront avec la même régularité en changeant seulement le sens du mouvement.

Nous avons supposé ici que le piston fût au milieu de sa

course; mais on comprend qu'il en serait de même dans une position quelconque, et que la distribution se trouverait renversée plus ou moins rapidement.

Changer le sens de la marche se réduit donc à déplacer le tiroir, en accrochant l'extrémité de sa tige à une barre d'excentrique ou à une autre symétrique avec celle-ci. C'est ce qui se faisait, en effet, dans les premiers types de locomotives; ces barres étaient terminées par des fourches qui recueillaient plus facilement l'extrémité de la tige quand elle était déplacée. Stephenson imagina, comme nous l'avons dit plus haut, de réunir ces deux barres B et B' par une coulisse CC' (fig. 57) dans laquelle on faisait glisser la tête C'' de la tige du tiroir T, et cet appareil ainsi disposé réalisa du même coup un perfectionnement très



Fig. 56. — Diagramme donnant la distribution de la vapeur pour la marche avant avec le tiroir représentée en traits pleins et pour la marche arrière par le tiroir pointillé. L'angle d'avance est toujours *a*.

considérable, car il permit en même temps de varier à volonté la détente, et de tirer ainsi un parti beaucoup plus complet et mieux réglé de la force d'expansion de la vapeur.

La détente est déterminée en effet par le temps pendant lequel les lumières sont obturées par le tiroir; mais si on réduit la course de ce tiroir de manière à ce qu'il découvre très faiblement les lumières, il est clair qu'on aura augmenté ainsi la durée de la détente qui s'étendra sur une portion plus considérable de la course du piston. La coulisse permet d'obtenir ainsi exactement le degré de détente qu'on désire et de le proportionner en un mot au travail que la machine doit accomplir; la détente sera faible si ce travail est important, elle devra être augmentée, au contraire, s'il est réduit; il suffit à cet effet d'amener la tête de la tige du tiroir sur la coulisse dans une position rapprochée, de

l'extrémité dans le premier cas, et du centre dans le second. Si on veut changer la marche de la machine, on passe la tige à l'extrémité opposée de la coulisse. Lorsque la tête de la tige du tiroir ou coulisseau est maintenue au milieu de celle-ci, la course du tiroir est très réduite de sorte que l'admission n'a lieu que pendant un temps très faible de la course du piston, et peut même être supprimée tout à fait. C'est cette circonstance qui a fait donner au point milieu de la coulisse le nom de *point mort*, puisqu'il ne fournit presque aucun effort moteur.

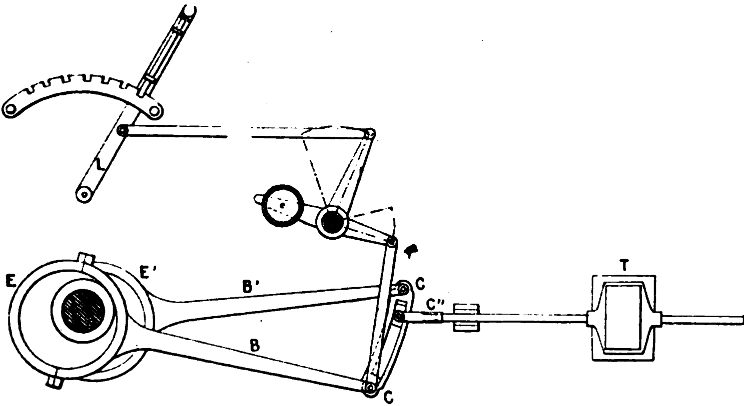


Fig. 57. — Vue de la coulisse de distribution variable CC' et des leviers qui la commandent.

Ce déplacement de la tête de la tige du tiroir était autrefois une opération très pénible et même dangereuse, car le tiroir, soumis à l'action d'une pression de vapeur considérable, était très difficile à manœuvrer et n'obéissait pas au mouvement qui lui était imprimé, parfois même il se trouvait entraîné subitement, et le mécanicien qui tenait à la main le levier L de changement de marche pouvait se trouver grièvement blessé par le choc de ce levier. On remédie à cet inconvénient au moyen du changement de marche à vis qui est maintenant d'un usage universel, et qui donne toute sécurité et toute facilité au mécanicien.

Échappement. — Nous avons déjà dit que la vapeur d'échappement, sortant des cylindres, se rendait directement dans l'at-

mosphère, c'est-à-dire que la locomotive est nécessairement une machine à haute pression ayant par suite un rendement inférieur à celui des machines à condensation. Cependant, il ne faut pas oublier que la vapeur d'échappement, se rendant dans l'atmosphère, si elle n'exerce plus aucun effet utile au point de vue mécanique, joue encore néanmoins un rôle très considérable dans l'économie de la locomotive puisqu'elle active le tirage et qu'elle détermine sur le foyer un appel d'air qu'on ne pourrait pas obtenir autrement ; et cette disposition essentielle caractérise la chaudière de locomotive, comme nous l'avons dit plus haut.

Mécanisme. — Les cylindres sont placés à l'avant de la machine et sont presque toujours horizontaux ; ils sont réunis sous la chaudière à l'intérieur du châssis comme dans la figure 52, ou reportés séparément à l'extérieur des deux côtés. La position des cylindres exerce une influence considérable sur celle du mécanisme tout entier, car elle détermine l'emplacement de toutes les pièces mobiles, bielles, manivelles, excentriques de distribution, etc., et elle caractérise immédiatement la physionomie générale de la machine. Toutefois aucune des deux dispositions, intérieure ou extérieure, n'a prévalu jusqu'à présent d'une manière définitive, car elles présentent chacune des avantages et des inconvénients à peu près équivalents.

Les cylindres intérieurs entretoisent plus solidement le châssis, ils rendent l'allure de la machine beaucoup plus douce, toutefois ils ont l'inconvénient de reporter sous la chaudière toutes les pièces du mécanisme dont l'accès est alors très gêné, en outre ils obligent à couder l'essieu moteur qui devient une pièce coûteuse, difficile à forger, et très sujette aux ruptures.

Les cylindres extérieurs donnent plus d'assiette à la machine, ils reportent en dehors du châssis les pièces mobiles qui sont plus faciles à surveiller, toutefois ils ont l'inconvénient d'accroître l'intensité des mouvements perturbateurs de la machine en marche.

Véhicule. — La chaudière et le mécanisme que nous venons de décrire sont supportés par un véhicule qui doit leur fournir un

point d'appui robuste et invariable, tout en conservant un peu de jeu et une certaine élasticité nécessaires pour adoucir les réactions de la voie, supporter l'inscription dans les courbes et permettre enfin la libre dilatation de la chaudière. Le véhicule comprend un châssis rigide en fer qui assemble et soutient à la fois les différentes pièces de la machine dont il reporte le poids sur les fusées des essieux. Ce châssis est formé sur ses longs côtés par des tôles de fer posées de champ et solidement entretoisées sur toute leur longueur. En Amérique, on emploie généralement à cet effet de véritables barres de fer carrées.

La chaudière est presque toujours fixée au châssis à l'avant, sous la boîte à fumée; elle se dilate alors vers l'arrière, en glissant librement sur les supports ou sous-ventrières du corps cylindrique, et sur les tasseaux latéraux de la boîte à feu.

Le châssis repose lui-même sur les fusées des essieux par l'intermédiaire de ressorts de suspension, et il communique à la machine entière le mouvement d'impulsion des roues, qui lui est transmis par les plaques de garde.

Ces pièces, qui sont de simples fourches embrassant les boîtes à graisse, jouent ainsi, malgré leurs faibles dimensions, un rôle essentiel dans la marche de la machine, et elles doivent être montées avec un soin particulier, de manière à éviter tout jeu inutile qui pourrait amener le ballottement des roues et fausser les bielles d'accouplement. Les surfaces de frottement des plaques de garde sont munies souvent de coins de réglage qui permettent de maintenir constamment le jeu dans certaines limites malgré l'usure des pièces.

Le châssis est disposé tantôt à l'intérieur et tantôt à l'extérieur des roues; quelquefois les longerons sont doubles au moins sur une partie de leur longueur, comme dans les anciennes machines Crampton ou dans l'exemple représenté figure 52. La position donnée au châssis, de même que celle des cylindres, modifie beaucoup l'apparence extérieure de la machine, dont les pièces mobiles sont entièrement cachées si les cylindres sont intérieurs, et le châssis extérieur, tandis qu'elles restent apparentes dans le

cas contraire. Elles ont toutes leurs avantages et leurs inconvénients correspondants, et la préférence à accorder dépend dans une grande mesure des conditions particulières. Les châssis intérieurs obligent à augmenter le diamètre des fusées, ce qui a d'ailleurs l'avantage de réduire les chances du chauffage ; la chaudière est alors plus directement et mieux soutenue ; mais, d'autre part la roue n'a plus le même appui dans le cas d'une rupture d'essieu qu'avec un châssis extérieur. Les châssis doubles ont l'inconvénient de leur prix élevé, mais ils sont bien préférables au point de vue de la sécurité et de la solidité.

Machines américaines. — Nous avons représenté dans les figures 41, 50 et 58 des machines américaines des types ordinaires adoptés aux États-Unis, afin de pouvoir signaler brièvement les différences qu'elles présentent avec les nôtres. On reconnaît (fig. 41) le boggie mobile à l'avant, et qui est resté longtemps caractéristique ; on commence toutefois à l'adopter en France, comme on en a vu un exemple dans la locomotive express du Nord. La machine n'a pas de châssis proprement dit, mais seulement de grosses barres de fer pour tenir lieu de longerons. Le foyer est muni d'une chambre de combustion et d'une grille tubulaire (fig. 51) pour brûler l'anthracite, l'échappement se règle en général au moyen d'une valve à papillon ménagée sur la porte de la boîte à fumée, etc... On voit à l'avant le chasse bœufs qui est nécessaire dans un pays où la voie n'est pas close. Le sifflet possède, d'autre part, un son très rauque assez semblable au beuglement du taureau affolé, et qui est très propre à effrayer les animaux. La cloche prévient du passage du train dans les villes. On remarquera également la cheminée élargie dans le haut pour retenir les flammèches, et l'abri confortable si bien aménagé du mécanicien, dans lequel on a réuni sous sa main tous les leviers qu'il peut avoir à manœuvrer. On retrouve également toutes ces particularités caractéristiques, sauf le boggie, dans la machine à 3 essieux accouplés de la figure 58.

Le tender. — La locomotive est toujours accompagnée d'un véhicule spécial, appelé *tender*, qui sert à renfermer les approvi-

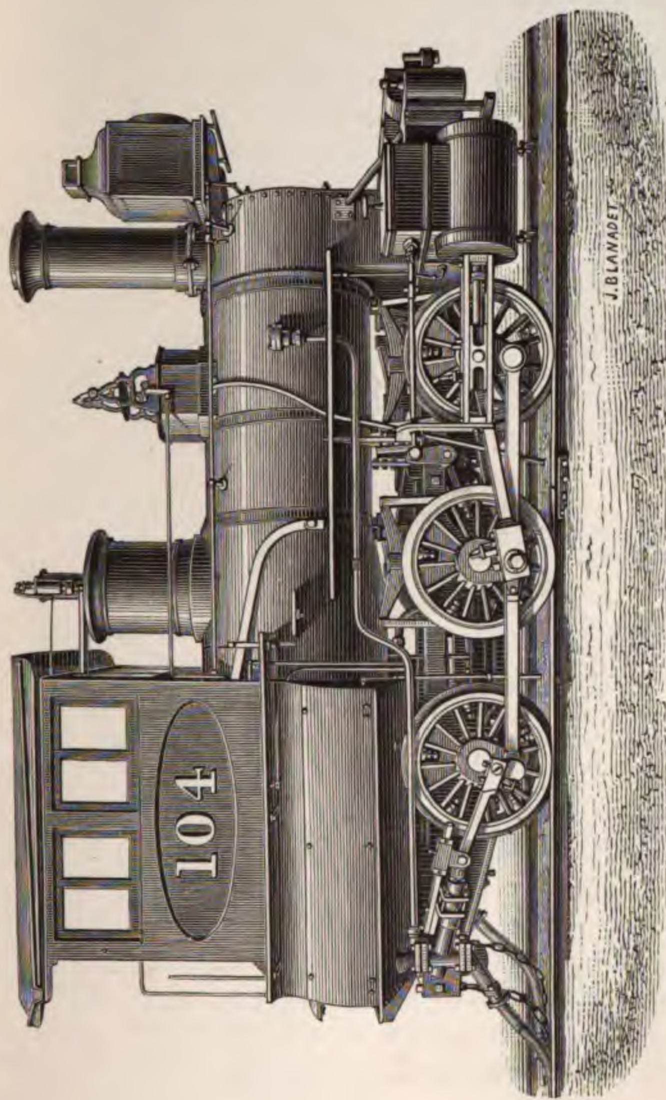


Fig. 58. — Machine américaine à 3 essieux accouplés sans boggie.



sionnements nécessaires d'eau et de combustible, à moins qu'elle ne les porte elle-même. Le tender se compose essentiellement d'une grande caisse en tôle présentant souvent la forme d'un fer à cheval entre les branches duquel on entasse le charbon. Cette caisse est supportée sur un châssis monté, comme les autres wagons ; elle est remplie d'eau au commencement du voyage et dans les arrêts, s'il est nécessaire, en la puisant aux réservoirs des stations. Le tender porte toujours un frein que le chauffeur doit serrer au moment des arrêts.

La contenance de la caisse à eau du tender est limitée ordinairement à 8 ou 10 mètres cubes ; mais on est obligé de dépasser ces dimensions quand on veut effectuer des parcours de 100 à 120 kilomètres sans arrêt, comme dans les étapes du train rapide de Paris à Marseille, il faut alors donner 15 mètres cubes environ, et ajouter un troisième essieu au tender.

En Amérique et même en Angleterre, certains trains franchissent sans arrêt, des étapes atteignant parfois 200 kilomètres, mais ils prennent alors de l'eau en marche, en ayant recours à une disposition très ingénieuse, imaginée par M. Ramsbotton, et appliquée pour la première fois sur le *North Western Railway*. Une bâche longue et étroite, constamment remplie d'eau, est installée à demeure, au milieu de la voie, dans une partie en ligne droite sur une longueur de 400 mètres environ ; et, au moment du passage du train, le mécanicien aspire dans le tender l'eau qu'elle contient en descendant un tube vertical recourbé et évasé à son extrémité qui vient plonger dans l'eau de la bâche. La partie recourbée du tube est tournée dans le sens de la marche du train, et comme celui-ci est animé d'une vitesse relative très considérable, les filets d'eau qui pénètrent dans le tube sont soulevés à une certaine hauteur, dès que la vitesse dépasse 36 kilomètres, ils peuvent pénétrer dans la caisse à eau du tender, et la remplir ainsi automatiquement.

Études récentes sur le rendement des locomotives. — Wagon d'expériences du chemin de fer de l'Est. — La locomotive, telle que nous venons de la décrire sommairement, est une véritable ma-

chi[illegible]ur, soumise comme toutes les autres aux lois de la mé[illegible] et quelque merveilleux résultats qu'elle ait procurés, on peut se demander néanmoins si le travail utile obtenu reste bien en rapport avec le travail dépensé, si on recueille une proportion suffisante de l'énergie latente dans le combustible brûlé sur le foyer; on peut chercher en un mot quel est son rendement. C'est là une question des plus complexes, qui n'est pas encore résolue aujourd'hui malgré tous les travaux et les recherches dont la locomotive a été l'objet, et dont la solution présenterait cependant un intérêt capital. Mais, dans un train en marche, les efforts de frottement si considérables au départ varient ensuite à chaque instant; le profil de la voie, la vitesse, la résistance de l'atmosphère exercent en outre une influence prépondérante sur la valeur de l'effort utile à développer pour entraîner le train. Et d'autre part, le travail que la locomotive elle-même peut fournir est très difficile à évaluer exactement, car il faut faire la part des chûtes de pression inévitables, des fuites de toutes sortes, etc., avant de trouver le véritable effort moteur.

La Compagnie de l'Est a voulu reprendre ces recherches en s'entourant de toutes les ressources que les derniers progrès des sciences physiques mettent aujourd'hui à la disposition des expérimentateurs. Dans le wagon construit par ses éminents ingénieurs sur les indications théoriques fournies par le génie inventif de M. Marcel Deprez, rien n'a été négligé pour éliminer toutes les erreurs qui avaient pu entacher les expériences antérieures, et obtenir des résultats d'une précision absolue pour ainsi dire. L'observateur emporté avec le train en marche, opère dans ce wagon si bien aménagé comme dans un véritable cabinet de physique; il note à chaque instant les pressions motrices et résistantes sur la surface des pistons dans les cylindres, en même temps que l'effort résistant du train, la vitesse de marche, etc..., toutes les indications utiles en un mot qui viennent s'inscrire d'elles-mêmes dans son wagon, sans qu'il ait besoin jamais d'opérer directement sur la machine en marche. Il faut espérer que la comparaison des résultats obtenus simultanément dans des conditions

d'exactitude et de précision inconnues jusque là, apportera des faits nouveaux qui serviront à fixer définitivement cette théorie des locomotives, restée encore malheureusement obscure dans bien des cas.

Le magnifique wagon de l'Est comprend donc essentiellement, un appareil dynamométrique, attelé entre la machine et le train, donnant, par la flexion d'un ressort, la résistance du train à chaque instant, et en outre, un appareil indicateur de pression donnant de son côté la pression motrice dans les cylindres pour chaque instant de la course du piston, indications qui sont transmises synchroniquement par des fils électriques depuis le cylindre de la machine jusqu'au wagon d'essai. Il nous est malheureusement impossible de décrire tous les appareils si élégants et délicats qui permettent de résoudre ces deux questions si complexes, et nous nous bornerons à donner la description de l'indicateur de pression de M. Marcel Deprez. Nous renverrons nos lecteurs au numéro de la *Nature*, 1879, tome II, page 407, dans lequel nous avons étudié également le régulateur de pression de M. Napoli, et ils trouveront d'ailleurs l'étude complète sur le wagon d'expériences dans la Notice publiée par la compagnie de l'Est, et reproduit dans la *Revue générale des Chemins de fer*.

Indicateur de pression de M. Deprez. — On sait que l'indicateur de pression a pour but d'établir un diagramme représentant le travail de la vapeur et donnant la valeur de la pression dans le cylindre pour chaque position du piston.

Dans les premiers indicateurs que Watt avait construits à cet effet, il s'était borné à placer en communication avec le cylindre de la machine un tuyau vertical formant un petit cylindre muni d'un piston mobile contrebalancé, par un ressort, mais qui pouvait s'élever ou s'abaisser sous l'action de la pression de la vapeur. En même temps, ces déplacements étaient enregistrés sur un tableau mobile entraîné lui-même avec le piston moteur.

Cet appareil fort simple ne donnait guère que des courbes approximatives à cause de l'inertie des pièces et du lancé du ressort, et il présentait de nombreuses chances d'erreur, que

…prez réussit à éviter, en même temps qu'il en …tar… s indications de manière à rétablir le diagramme à une … nce quelconque de la machine étudiée.

Le piston de l'indicateur de Watt est remplacé dans l'appareil de M. Deprez par une membrane métallique excessivement mince, sollicitée d'un côté par une pression déterminée s'exer-

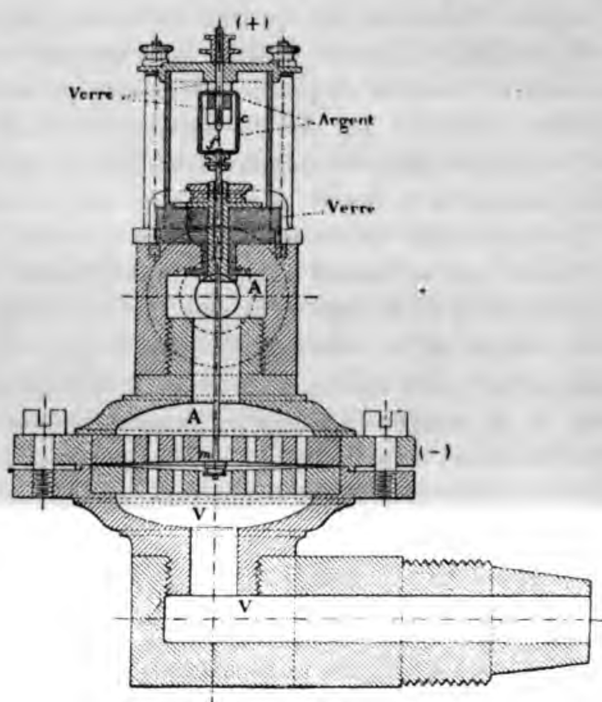


Fig. 59. — Coupe de la membrane exploratrice de l'indicateur de pression de M. Marcel Deprez.

çant sur une de ses faces, et de l'autre par la pression de la vapeur du cylindre appuyant sur la face opposée. Cette pression, variable avec la position du piston-moteur, va en décroissant peu à peu en passant successivement par toutes les valeurs, elle reste un instant seulement égale à la valeur constante, pendant cette période, de la pression antagoniste, pour lui devenir ensuite in-

férieure; à ce moment précis, la membrane se déplace légèrement, en obéissant à l'impulsion de l'effort moteur qui change de sens, et cette rupture d'équilibre est enregistrée automatiquement par l'intermédiaire d'un courant électrique sur un tableau mobile installé à cet effet dans le wagon d'expériences. L'indication qui en résulte donne immédiatement la valeur, à cet instant, de la pression de la vapeur, alors égale à celle de la pression antagoniste connue; et, comme d'autre part le tableau est animé d'un mouvement rigoureusement synchrone et identique à celui du piston, on voit qu'on obtient à la fois par la position de l'indication obtenue sur le tableau, la valeur de la pression et la position correspondante du piston. On répète ensuite l'expérience en donnant à la pression connue une série continuelle de valeurs graduellement variables, et déterminant toujours la position du piston pour laquelle la pression de la vapeur atteint une valeur égale. L'ensemble des résultats ainsi obtenus sert à constituer le diagramme demandé.

Les appareils qui permettent de réaliser cette idée sont des merveilles d'invention et de construction ingénieuse et élégante, mais ils sont beaucoup trop compliqués pour qu'il soit possible de les décrire, et nous nous contenterons, après en avoir fait comprendre le principe, de représenter dans sa disposition primitive, la membrane exploratrice dont les ruptures d'équilibre doivent donner les inscriptions nécessaires sur le tableau mobile.

Cette membrane représentée figure 59 est en acier, elle a 1/20 de millimètre d'épaisseur et 50 millimètres de diamètre. Elle est fixée directement au-dessus du cylindre, et pincée, comme on le voit, entre deux coquilles de bronze entre lesquelles sa course est limitée à 1/4 de millimètre de part et d'autre de sa position d'équilibre. Elle sépare donc ainsi l'espace vide en deux chambres V et A, dont l'une V communique avec le cylindre, et l'autre A avec une chambre manométrique remplie d'air comprimé, et destinée à fournir à chaque instant une pression antagoniste déterminée, comme nous le disions plus haut. Au centre de la membrane est fixée une petite tige dont l'extrémité hors

e termine par une pince d'argent *c*. Celle-ci frotte
ièce *f* formée de rondelles de verre et d'argent sou-
en le et soigneusement isolées de l'enveloppe de la
ne, mise elle-même en communication avec le pôle né-
d'une pile, dont le pôle positif est relié aux lames d'argent.
it que celle-ci se tient en équilibre par égalité de pression sur
eux faces, la pince est en contact avec la rondelle d'argent,
le courant électrique peut se transmettre sans interruption par
rmédiaire de la tige métallique; mais aussitôt que l'équi-
e est rompu, la pince se déplace d'un côté ou de l'autre en
ême temps que la membrane, le courant est brisé et cette
rupture détermine immédiatement la production d'un signal
sur le tableau indicateur, comme il a été dit plus haut : la va-
r variable de la pression de la vapeur se trouve être alors
n égale à la pression antagoniste de l'air comprimé
is l'autre face. Cette dernière pression se détermine
fa t, comme nous le disions en commençant, au moyen
r de M. Napoli qui permet de mesurer la pression
r comprimé et de la maintenir constante et bien
déterminee aussi longtemps qu'il est nécessaire.

Dans l'installation actuelle, la membrane métallique que nous venons de décrire est remplacée par un explorateur formé d'un petit cylindre dans lequel se meut un piston ayant une course très limitée ; mais d'ailleurs le fonctionnement s'opère absolument dans les mêmes conditions.

CHAPITRE III

VOITURES ET WAGONS.

Les premières voitures de chemins de fer étaient de simples charrettes à quatre roues dans lesquelles les voyageurs se tenaient debout, disposition qu'on rencontre encore en partie dans certains pays, notamment en Allemagne. La voiture que nous représentons (fig. 60) en est un des premiers spécimens; car elle était en service sur la ligne de Liverpool à Manchester inaugurée, comme nous l'avons dit, en 1830. Cependant, dès cette époque, on rencontre déjà des classes différentes de voitures, et nous avons remarqué plus haut qu'il y en avait deux sur la ligne de Liverpool, et que les trains étaient composés alternativement de voitures de l'une ou l'autre classe.

Plus tard, le développement de la circulation, et surtout la vitesse croissante des trains ont obligé à prendre des dispositions spéciales pour soustraire les voyageurs aux réactions et aux secousses si nuisibles d'ailleurs pour le matériel, que le véhicule subit toujours en marche, tant par suite du jeu inévitable de la voie que par les chocs des autres véhicules; on fut donc amené à améliorer la suspension et le mode d'attelage par l'interposition de ressorts convenables et de tampons élastiques.

En même temps, on modifia également la distribution intérieure et l'aménagement des caisses, afin de donner aux voyageurs le confortable que les longs parcours rendent de plus en plus nécessaire.

Telles qu'elles sont disposées actuellement, les voitures de chemins de fer se composent de deux parties essentielles :

la caisse proprement dite, dans laquelle prennent place les voyageurs, et le châssis, sorte de cadre inférieur qui supporte la caisse, et repose lui-même sur les fusées des essieux par l'intermédiaire des ressorts. Ces deux parties sont entièrement distinctes dans la construction des voitures; la caisse forme un ensemble qui peut se séparer facilement du châssis, et qui même, dans certains cas, n'est pas fixé sur celui-ci d'une manière rigide, mais seulement en interposant des ressorts spéciaux.

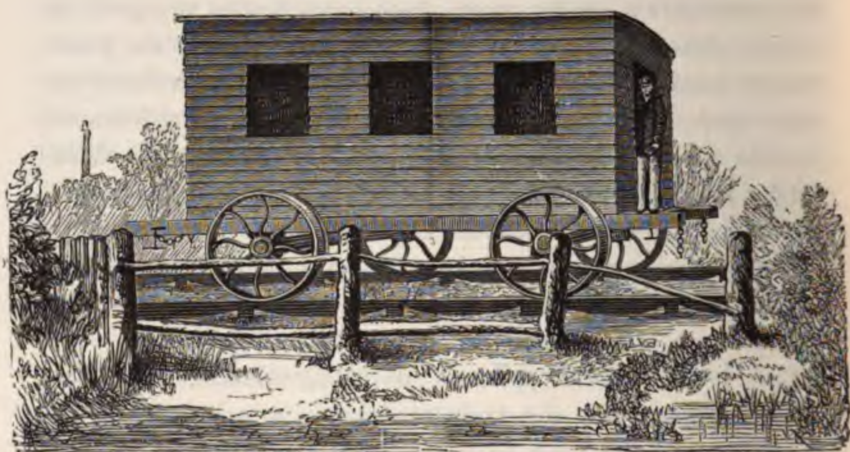


Fig. 60. — Voiture de seconde classe du chemin de Liverpool à Manchester.

L'installation intérieure d'une voiture est une question de carrosserie qui soulève une foule de détails dans lesquels nous ne pouvons entrer ici; toutefois nous insisterons plus particulièrement sur la distribution; car c'est là un sujet qui intéresse le public tout entier, et qui est souvent l'objet de critiques peu réfléchies.

Distribution et aménagement intérieur des caisses. Comparaison du type européen et du type américain. — Les voitures des chemins européens sont divisées, comme on sait, par un certain nombre de cloisons transversales, et partagées ainsi en compar-

timents séparés dans lesquels les voyageurs pénètrent par des portières latérales.

Dans le type américain, au contraire, les voitures très allongées forment une grande caisse non divisée dans laquelle les voyageurs peuvent communiquer librement entre eux (fig. 61). Elle sont munies d'un passage central, et sont même reliées entre elles par des plates-formes qui permettent de circuler d'une extrémité à l'autre du train.

La première disposition par cloisons séparatives complètes, a été adoptée en France par toutes les grandes compagnies, tandis que certains chemins de fer secondaires ont essayé d'imiter dans la distribution de la caisse, le type américain recommandé alors surtout par l'attrait de la nouveauté, et on rencontre encore

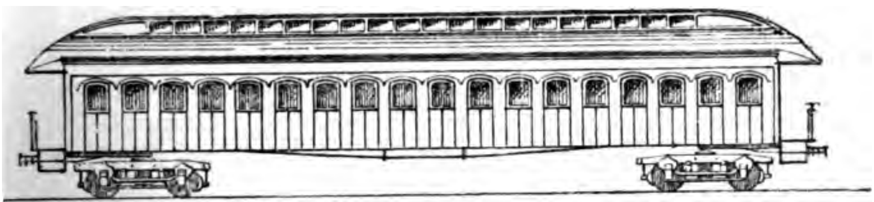


Fig. 61. — Vue extérieure d'un wagon ordinaire américain.

aujourd'hui, sur le chemin de l'État en particulier, beaucoup de voitures ainsi aménagées.

Des essais analogues ont été pratiqués également dans différents pays étrangers, et ils ont ainsi permis au public de comparer, par une pratique personnelle en quelque sorte, les avantages et les inconvénients des deux types. L'engouement un peu rapide dont le matériel américain avait été l'objet à l'origine, s'est légèrement refroidi à mesure qu'on a mieux compris les raisons qui l'avaient fait adopter, et on peut dire que ces deux types distincts sont imposés en quelque sorte par les mœurs et les habitudes différentes des deux pays.

La voiture américaine renferme des banquettes transversales disposées de part et d'autre du couloir central. Chacune de celles-ci

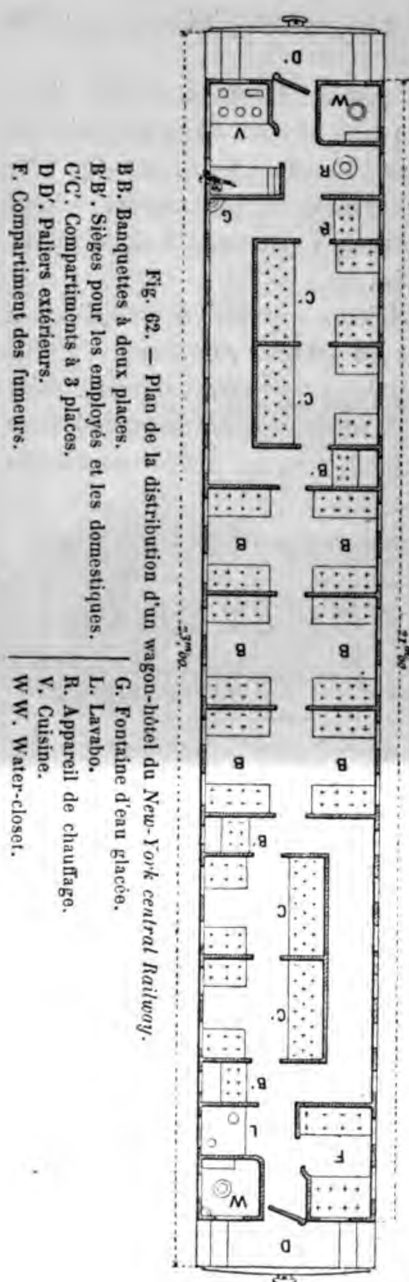


Fig. 62. — Plan de la distribution d'un wagon-hôtel du *New-York central Railway*.

B B. Banquettes à deux places.
B'B'. Sièges pour les employés et les domestiques.
C'C'. Compartiments à 3 places.
D D'. Paliers extérieurs.
F. Compartiment des fumeurs.
G. Fontaine d'eau glacée.
L. Lavabo.
R. Appareil de chauffage.
V. Cuisine.
W W. Water-closet.

contient deux places, et dans l'état normal, les dossiers sont tous disposés de manière à regarder la tête du train ; seulement, ils peuvent être déplacés par les voyageurs et ramenés dans la direction opposée ; et dans ces conditions, un groupe de quatre personnes occupant deux banquettes successives peuvent se faire face deux à deux.

Les voyageurs peuvent circuler, comme nous l'avons dit, sur toute la longueur du train, en passant d'une voiture à l'autre au moyen des plates-formes intermédiaires. Le train est pourvu d'ailleurs d'un certain nombre de wagons spéciaux destinés à assurer tout le confortable nécessaire : d'un hôtel, wagon-lit, restaurant, d'un cabinet de lecture, etc. On annonce même qu'on a pu essayer d'organiser des représentations théâtrales : les voyageurs peuvent ainsi, moyennant certaines dépenses accessoires, aller prendre leur nourriture, se distraire ou se reposer, contempler même le paysage en s'appuyant sur la balustrade d'un wagon disposé à cet effet,



Fig. 63. — Wagon-restaurant essayé en Angleterre sur le Great Northern Railway à l'imitation des wagons américains.



retrouver en un mot toutes les commodités de la vie sur le train en marche.

Une pareille disposition sourit immédiatement quand on se rappelle nos voitures aux compartiments étroits dans lesquels on est enfermé sans aucune possibilité de se déplacer, souvent même de changer de position, ou de demander du secours en cas d'accident.

Toutefois, avant de condamner la disposition européenne, il faut se rappeler que les banquettes des voitures américaines ne sont guère plus confortables que celles de nos secondes, et que d'ailleurs le type adopté aux États-Unis devenait nécessaire dans un pays où nos gares, avec leurs salles d'attente et buffets si bien aménagés, sont absolument inconnues, et où les trains doivent faire des parcours très longs sans arrêt, voyager quelquefois des journées entières sans descendre de voyageurs. Le trajet de New-York à San-Francisco par exemple n'exige pas moins de cinq jours, et il faut alors emmener sur le train, comme sur un vaisseau, tout ce qui est nécessaire à la vie des passagers.

Chez nous, au contraire, les voyages sont toujours beaucoup plus courts, les trains rencontrent des villes importantes à faible distance, et le trajet le plus long, comme celui de Paris à Marseille par exemple, n'exige guère plus de seize heures en express. D'ailleurs, les trajets sans arrêt restent aussi bien inférieurs à ceux qu'on effectue en Amérique, et les parcours les plus longs n'atteignent guère 130 kilomètres, tandis qu'en Amérique les étapes dépassent quelquefois 200 kilomètres. Enfin, il faut ajouter que cette liberté du voyageur dans la voiture est achetée au prix d'une promiscuité qui ne laisserait pas que d'être très pénible pour certaines gens et surtout pour les dames eu égard à la réserve que nos mœurs exigent. Sans parler des personnes qui paient les classes élevées plutôt pour s'assurer l'intimité, ou même éviter certains rapprochements plutôt que pour jouir d'un peu plus de confortable, il faut bien reconnaître que l'isolement résume le désir général, et la première préocupation des voyageurs qui montent dans un train, est de trouver le compartiment vide où ils pour-

ront [illegible] te[illegible]dre à leur aise et s'organiser, s'il est possible, un lit improvisé sur la banquette sans être gênés par les voisins. Et, en effet, la contrainte résultant de la présence des étrangers, toute morale seulement pendant le jour, peut devenir un ennui réel pour les voyageurs à long parcours que le bruit ou la nature des conversations empêche de dormir ou de se reposer.

Il convient en outre de remarquer que la disposition des portières aux deux extrémités de la voiture américaine n'est pas sans amener un certain encombrement au moment des arrêts, les voyageurs qui veulent monter o[illegible] descendre sont obligés de se presser dans une baie un[illegible], [illegible] se gênent mutuellement; et cette considération acqui[illegible] gravité particulière pour les trains de banlieue dont les arrêt[illegible] fréquents doivent être rendus aussi courts que possible; l'[illegible]ion du Métropolitain de Londres, par exemple, se trouver[illegible]rcément ralentie si les voitures étaient privées de leurs p[illegible]s latérales qui multiplient les issues.

On peut enfin comparer les [illegible] distributions au point de vue de la sécurité qu'elles procure[illegible]st certain que la communication centrale présente l'avantage à cet égard, puisqu'elle permet au voyageur de se mettre immédiatement en relation avec le conducteur du train quand c'est nécessaire; toutefois, nous croyons avec M. Couche qu'il y a même encore là quelques réserves à établir.

La sécurité au point de vue des attentats n'est guère beaucoup mieux garantie en réalité avec le matériel américain qu'avec le nôtre, car, si un crime peut être commis dans un compartiment séparé sur un voyageur isolé, privé de tout moyen d'appeler et de recevoir du secours, il faut reconnaître qu'une pareille agression est peu probable, car on ne sait pas en montant, comment le compartiment est ou sera occupé ; et d'ailleurs un crime pourrait se produire aussi à la rigueur, dans une voiture américaine entièrement vide, un voyageur isolé pourrait également se trouver assailli sans défense par des criminels qui voudraient profiter d'une occasion favorable qu'ils ont pu préparer à loisir. La



Fig. 64. — Vue intérieure d'un wagon-restaurant.



facilité des communications présente aussi ses avantages pour eux, car ils peuvent arriver et s'échapper librement.

C'est surtout au point de vue des accidents du matériel que la voiture américaine présente des avantages incontestables. S'il se produit en effet une rupture de bandage ou d'essieu, en un mot une avarie quelconque amenant un danger, le voyageur peut quitter sa place sans difficulté et aller prévenir les conducteurs pour faire arrêter le train s'il est nécessaire.

Nous terminerons cette comparaison rapide des deux modes de distribution, en parlant des dispositions mixtes adoptées en Allemagne par l'Union des ingénieurs, et qui tendent à concilier dans une certaine mesure les avantages des deux types. On a conservé la disposition transversale des banquettes, mais on a muni les voitures d'une circulation centrale formée soit par un simple passage, soit par un couloir complètement isolé et séparé des différents compartiments par des portes. On est arrivé ainsi à constituer quatre types différents qui assurent plus ou moins bien l'isolement du voyageur selon la longueur du parcours qu'il doit effectuer. On a ainsi :

1° Des voitures de 1re, de 2e, de 3e et de 4e classes pourvues d'un simple passage central pour les trains destinés à un service local.

2° Des voitures de 1re et de 2e munis d'un couloir latéral isolé pour les parcours un peu longs.

3° Des voitures de 1re et de 2e à compartiments complètement isolés, suivant la distribution anglaise, pour les trains à grande vitesse.

4° Des voitures de 1re et 2e à compartiments séparés également, mais munis en même temps d'un couloir intérieur bien isolé permettant aux voyageurs de circuler dans la voiture et d'atteindre les water-closets. Ces voitures sont destinées spécialement aux trains rapides qui ont un long parcours de nuit.

En même temps on a adopté des dispositions qui sont un réel bienfait pour les voyageurs à long parcours, et supprimé pour eux l'inconvénient le plus grave de la distribution séparée, en

créant des types de voitures munies de water-closets. Une voiture ainsi distribuée figurait à l'Exposition de 1880, à Düsseldorf, où elle faisait l'admiration des visiteurs, et la compagnie du Bergisch Märkisch en a actuellement en service un certain nombre qui font le voyage de Paris à Berlin. Cette voiture, qui est mixte, renferme quatre compartiments dont deux de première classe au milieu, et deux de seconde aux extrémités. Chaque compartiment de seconde est séparé du compartiment voisin de première par deux water-closets occupant ensemble la largeur de la voiture et communiquant avec chacun de ceux-ci par une porte placée dans la cloison (fig. 65).

En France, on s'est contenté jusqu'à présent d'ajouter un water-closet dans l'un des fourgons du train, mais cette disposition, généralement ignorée et peu appréciée du public, reste



Fig. 65. — Voiture à water-closet du Bergisch Märkisch.

évidemment insuffisante : les voyageurs consentent difficilement à quitter leur place, d'un arrêt à l'autre, pour aller se renfermer dans un compartiment du fourgon ; autant vaut alors, en effet, profiter des cabinets des gares et stations.

De nombreux progrès ont été réalisés cependant pour assurer le confortable des voyageurs, surtout sur les longs parcours. En Amérique, on rencontre depuis longtemps déjà les voitures dites Pullmann, qui renferment de véritables lits dans lesquels les voyageurs peuvent se coucher librement et dormir pendant la nuit. Cette voiture contient au milieu un compartiment traversé par un passage central de chaque côté duquel sont disposées quatre doubles banquettes à deux places avec une petite table mobile installée entre chaque paire de sièges (fig. 66). La

nuit, on enlève cette table, et on forme un lit inférieur en rapprochant les deux sièges opposés sur lesquels on étend les matelas. On rabat en même temps au dessus une couchette renfermée dans une armoire, et on obtient ainsi un second lit au dessus du premier. Chacun de ces lits peut contenir deux voyageurs. La voiture renferme en outre deux autres compartiments isolés contenant chacun quatre places, et des water-closets, cabinets de toilette, lingerie, etc.

En dehors des wagons-lits, d'une disposition légèrement différente, qui circulent maintenant en Europe, on rencontre également sur chacun des grands réseaux, des voitures de luxe, coupés et fauteuils-lits destinés aux voyageurs à long parcours. On s'est attaché à augmenter en même temps les dimensions des voitures des classes ordinaires, de manière à donner aux voyageurs plus d'espace libre et plus de confortable.

C'est ainsi que les coupés sont munis généralement de sièges dont les dossiers peuvent se rabattre horizontalement et former une sorte de chaise longue sur laquelle on peut s'étendre librement. Les voitures allemandes de première sont munies déjà depuis longtemps d'une disposition analogue : les deux sièges qui se font face peuvent être rapprochés et former une chaise continue.

En Allemagne, on a conservé des voitures de quatrième classe ou *voitures debout* (*stehwagen*) destinées spécialement aux ouvriers qui sont transportés à tarif réduit sur de faibles parcours. L'adoption de ce type a été commandée surtout par des considérations militaires, car ces voitures sont disposées de manière à être transformées immédiatement en voitures d'ambulance en cas de besoin ; elles sont munies à cet effet de doubles portes d'entrée, de colonnes à crochets et de tous les agrés nécessaires pour suspendre les lits des blessés.

Communications électriques dans les trains. — Avec nos wagons à compartiments séparés, la communication des voyageurs avec les gardes leur fournit en quelque sorte le correctif nécessaire de l'isolement auquel ils se trouvent réduits. Pour

assurer cette communication, on se borne souvent à poser sur le toit des voitures une longue corde qui règne sur toute la longueur du train et vient aboutir au fourgon du conducteur, celui-ci est d'ailleurs en relation avec le mécanicien à l'aide d'une petite corde attachée au sifflet de la machine. Cette disposition un peu primitive, est tout à fait incommode, et elle n'est pas sans présenter certains dangers pour les voyageurs qui sont ainsi forcés de sortir de leurs compartiments et d'aller jusqu'à l'extrémité du wagon s'ils veulent atteindre la corde.

On rencontre aujourd'hui sur certaines lignes, de véritables communications électriques installées comme les sonneries ordinaires d'appartements et qui peuvent actionner un timbre dans le fourgon du train. La disposition la plus répandue est celle de M. Prud'homme qui est appliquée sur le chemin de fer du Nord, et, avec de légères modifications, sur celui de Lyon. Cette sonnerie bien entretenue fonctionne d'ailleurs d'une manière satisfaisante, et les gardes doivent toujours constater qu'elle est bien en état au moment de la composition des trains. Les défaillances qu'on observe tiennent en général à ce qu'il est difficile de bien établir les contacts d'un véhicule à l'autre pour ne pas interrompre le courant, on emploie ordinairement à cet effet des griffes à ressorts pour que les fils conducteurs soient toujours en prise ; il faut avoir soin d'ailleurs de les bien nettoyer et d'enlever toutes les poussières adhérentes.

Sur la ligne du Nord, on remplace le bouton d'appel ordinaire par un commutateur fixé sur un arbre horizontal placé dans les cloisons mêmes qui séparent les compartiments. Une corde pendante est rattachée à cet arbre, et le voyageur qui veut appeler, la tire à lui et fait effectuer au commutateur une rotation de 90° qui ferme le circuit et rétablit la transmission du courant. Une palette fixée sur l'arbre, extérieurement à la voiture, et qui reste horizontale en temps normal, vient alors se placer verticalement, et le conducteur prévenu par la sonnerie, peut ainsi reconnaître, en jetant un coup d'œil sur le train, la voiture d'où est parti l'appel. La corde est protégée contre l'atteinte des

voyageurs par un petit carreau en verre qu'il faut briser avant d'appeler.

Cette disposition, qui permet de voir d'un compartiment dans l'autre, ajoute en même temps une certaine garantie contre les agressions. Elle a été recommandée par une circulaire ministérielle ainsi que la communication électrique, et elle doit être appliquée aussi à toutes les voitures à cloisons séparatives complètes.

Signalons enfin une application curieuse de l'électricité sur un train en marche, réalisée en Autriche, et dont on voit un exemple à l'Exposition d'électricité : nous voulons parler de l'annonce des stations dans les compartiments. Une pancarte, portant les noms de toutes les stations, est fixée sur l'armature d'un électro-aimant placé dans la paroi de la voiture, et relié au circuit électrique du train. A l'approche des stations, le garde dans son fourgon, produit un courant qui actionne une sonnerie dans les compartiments pour prévenir les voyageurs, et en même temps un jeu convenable de cames, de leviers et de déclics amène devant la fenêtre de l'appareil le nom de la station d'arrêt imprimé sur la pancarte. Une pareille disposition est très ingénieuse, et peut rendre pendant la nuit de grands services.

Éclairage des voitures. — Les lampes à huile ont remplacé presque partout en Europe les premières bougies fumeuses qui servaient autrefois à assurer l'éclairage des voitures ; seulement, dans les pays froids, on a soin d'ajouter un peu de pétrole pour prévenir la congélation de l'huile en hiver. Les lampes sont fixées généralement dans le pavillon des voitures, et protégées extérieurement par une coupe en cristal ; il faut alors monter sur le toit de la voiture pour les allumer, les éteindre et les entretenir.

En Allemagne et même en Italie, on emploie de préférence l'éclairage au gaz qui donne beaucoup plus de lumière. Chaque voiture est munie généralement d'un réservoir en tôle rempli de gaz comprimé, avec un régulateur pour en modérer le débit. Les essais pratiqués en France sur ce mode

d'éclairage n'ont pas été continués jusqu'à présent, car la dépense paraît trop élevée; toutefois on arriverait peut-être à la réduire dans une assez forte proportion en permettant aux voyageurs de régler l'écoulement du gaz au moyen d'un robinet spécial, qui leur servirait à réduire la lumière sans l'éteindre toutefois. Cette disposition est appliquée d'ailleurs, sur les voitures de la Compagnie allemande de Saarbruck.

Chauffage. — Les voitures de toutes classes sont actuellement chauffées en France durant la saison froide, et on emploie généralement à cet effet des chaufferettes remplies d'eau bouillante posées avant le départ sur le plancher des compartiments. L'eau chaude, dont la capacité calorifique est très élevée, emmagasine, comme on le sait, une quantité de chaleur considérable, et elle possède encore, au bout d'un parcours de deux heures environ, une élévation de température appréciable

On est arrivé dernièrement à augmenter sensiblement la quantité de calorique ainsi emmagasinée, d'après un procédé qui paraît dû à M. Ancelin, en ayant recours à une dissolution d'azotate de soude au lieu d'eau pure. Ce sel entre en fusion à une température de 60°, et il absorbe alors une quantité de chaleur latente de 94 calories; si donc on l'amène à une température de 80° avant de l'introduire dans la voiture, il est susceptible de céder en se refroidissant, outre sa chaleur sensible, toute sa chaleur latente au moment de la solification à 60°, et, si on suppose qu'il se refroidisse ensuite jusqu'à 40° environ, on obtient ainsi un dégagement de chaleur quatre fois supérieur à celui qu'on obtiendrait avec l'eau pure entre les mêmes limites de température. L'emploi de l'azotate de soude atténuerait beaucoup les inconvénients des chaufferettes ordinaires puisqu'il permettrait de les conserver plus longtemps sans les remplacer dans les voitures, et réduirait ainsi la manutention qu'elles exigent, et qui est si gênante pour les voyageurs, pendant la nuit surtout.

On a essayé aussi en Allemagne le chauffage par les poêles; mais ces appareils qui répartissent toujours d'ailleurs la chaleur

d'une manière trop irrégulière, ne sont pas applicables aux voitures à compartiments isolés.

On emploie actuellement dans ce pays des grilles spéciales chargées de briquettes allumées qu'on introduit sous les banquettes dans des compartiments ménagés à cet effet, et munis d'une ouverture spéciale extérieure à la voiture. Le charbon



Fig. 66. — Vue intérieure d'un wagon-lit pendant le jour.

brûle lentement sur la grille, et donne par sa combustion une chaleur suffisante qui peut se maintenir pendant un assez long parcours. Cette disposition est appliquée actuellement sur les voitures de troisième classe de la compagnie du Nord.

D'autres essais ont été pratiqués également pour assurer le chauffage des voitures, soit au moyen d'une circulation de vapeur ou d'eau chaude par exemple, comme dans le thermo-si-

phon du chemin de fer de l'Est; mais aucune de ces dispositions n'est encore entrée jusqu'à présent dans la pratique courante, et nous ne pouvons en donner ici une description qui sortirait des limites de cet ouvrage.

Le véhicule proprement dit. — Les voitures des chemins de fer se distinguent des véhicules ordinaires par certains caractères spéciaux affectant surtout les pièces tournantes, comme les roues et les essieux, et qui ont pour but de maintenir les roues sur les rails et de restreindre la liberté d'oscillations du véhicule en amortissant les chocs en marche.

Les bandages des roues sont munis, comme on sait, d'un mentonnet saillant ou boudin destiné à prévenir tout déraillement du véhicule, et qui sert surtout à guider les roues dans les déviations de la voie, au moment de l'entrée en courbe par exemple.

Deux autres dispositions essentielles assurent la stabilité aux grandes vitesses, même en alignement droit et en dehors de l'intervention des boudins : les roues sont calées sur les essieux qui partagent dès lors tous leurs mouvements, et la surface de roulement, au lieu d'être horizontale, présente une légère conicité vers l'intérieur avec une inclinaison de 1/20 environ. Dans ces conditions, les deux roues solidaires doivent toujours tourner nécessairement du même angle, et conserver par suite en alignement droit le même diamètre de roulement. Aussitôt, en effet, que les oscillations du véhicule viennent à déplacer transversalement l'essieu et à reporter par suite les cercles de roulement sur des diamètres différents, il se produit alors sur la roue dont le diamètre est le plus grand, des efforts de glissement qui persistent jusqu'à ce que l'égalité soit rétablie. Ces efforts agissent ainsi comme une sorte de modérateur ou de frein qui tend à ramener le véhicule dans sa position normale en absorbant tous les chocs et oscillations qu'il peut subir.

Ces dispositions qui jouent déjà un rôle si considérable en alignement droit deviennent tout à fait nécessaires dans les courbes, car elles permettent aux roues conjuguées, tout en con-

servant la même vitesse angulaire, de s'inscrire dans la courbe de manière à effectuer les parcours inégaux qui leur sont imposés par la différence de longueur des deux rails. L'essieu monté est reporté longitudinalement du côté du rail extérieur qui présente déjà un certain surhaussement, comme nous l'avons dit plus haut, et la roue extérieure porte ainsi sur son plus grand diamètre, tandis que la roue conjuguée est ramenée sur le plus petit, tout le système est donc sensiblement déversé vers l'intérieur de la courbe de manière à contrebalancer la force centrifuge.



QUATRIÈME PARTIE

LES TRAINS EN MARCHE.

CHAPITRE PREMIER

LES SIGNAUX.

Un train lancé avec une vitesse de 30 kilomètres à l'heure n'excite plus aujourd'hui la même admiration enthousiaste qui avait accueilli la *Fusée* au concours de Rainhill ; nous devenons plus exigeants désormais, et nous demandons aux types perfectionnés des machines nouvelles des vitesses de plus en plus considérables, sans songer que la charge s'est accrue elle-même dans une proportion bien plus rapide encore. Ainsi le poids remorqué par la *Fusée* était de 18 tonnes seulement, tandis qu'aujourd'hui nos machines de marchandises entraînent parfois plus de 600 tonnes avec une vitesse de 40 à 45 kilomètres à l'heure, nos machines express peuvent emmener 150 tonnes avec une vitesse moyenne de 60 kilomètres, et ces dernières atteignent même parfois 100 kilomètres.

Dans la plupart des pays d'Europe, la vitesse utile pour les voyageurs, déduction faite des temps d'arrêt, reste toujours comprise entre 60 et 70 kilomètres ; toutefois en Angleterre certains trains atteignent jusqu'à 80 kilomètres, et la vitesse des trains de marchandises qui sont d'ailleurs moins chargés que chez nous est aussi plus élevée, afin d'éviter autant que possible

qu'emploient habituellement les trains directs sur cette ligne.

Le train d'essai comprenait, outre la machine et le tender, un fourgon, deux voitures salons, ainsi qu'un wagon Pullmann. Il quitta New-York le 1er juin 1876, à 12 heures 42 minutes du soir, et il arriva à San-Francisco, où il fut salué par le son du canon, le 4 juin à 9 heures 29 minutes du matin, après avoir effectué, en tenant compte des différences de longitudes, en 83 heures 59 minutes 16 secondes, un trajet de 5498 kilomètres, avec une vitesse moyenne de 63 kilomètres. De Fort-Wayn à Chicago, sur un parcours de 247 kilomètres, la vitesse atteignit même 97 kilomètres 6, et 120 kilomètres entre Omaha et Ogden. On employa 18 locomotives successivement, dont chacune marcha en moyenne pendant 4 heures 40 sans interruption, sur une longueur de 306 kilomètres. La machine du Pennsylvanian traversa même seule tout son réseau, elle alla de Jersey City à Pittsburgh, et fit un parcours véritablement colossal de 733 kilomètres en 10 heures 5 minutes sans arrêt prolongé. La machine puisait de l'eau dans des bâches alimentaires, et la provision de charbon nécessaire était enfermée dans des sacs déposés dans le fourgon, qu'on passait sur le tender à mesure des besoins.

A partir d'Ogden, sur le réseau du *Central Pacific*, une autre locomotive effectua seule un parcours de 1466 kilomètres pour aller jusqu'à Ziele en 23 heures 55 minutes.

Elle prit un relai à Sanos, et s'arrêta seulement 15 fois pendant ce voyage, soit pour prendre de l'eau, visiter le train, graisser et rafraîchir les coussinets et les différentes pièces frottantes qui auraient pu chauffer. La caisse à eau du tender avait une contenance de 16 mètres cubes 811 litres. Le conducteur de la machine était toujours accompagné sur la plate-forme par un autre mécanicien mieux au courant de la ligne, et qui lui donnait les indications nécessaires sur les signaux et les manœuvres.

Signaux. — Dans les conditions ordinaires d'exploitation, la sécurité des trains est garantie par des agents et des gardes répartis sur la voie, qui sont chargés de la surveiller et d'effectuer

les signaux convenables, ainsi que par des appareils placés à demeure en avant de tous les points dangereux et aux abords des gares et stations, pour annoncer au mécanicien par des indications à vue si la voie est libre ou fermée.

Les points dangereux de la voie sont presque toujours couverts à la fois par un disque d'arrêt tout à fait rapproché, et par un

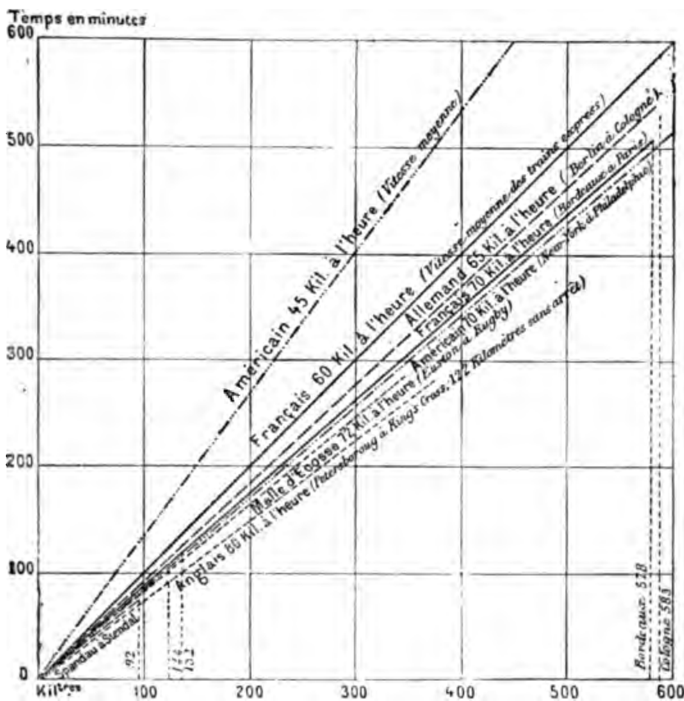


Fig. 67. — Tableau indiquant les vitesses des trains les plus rapides dans les différents pays du monde.

disque à distance : le mécanicien se trouve ainsi prévenu en voyant le disque avancé, et il ralentit sa vitesse de manière à pouvoir s'arrêter avant d'atteindre le disque d'arrêt qu'il ne doit jamais franchir tant qu'il n'est pas ouvert. Ce dernier est en outre généralement doublé par un pétard qui vient se placer automatiquement sur le rail, de manière à éveiller par sa déto-

nation l'attention du mécanicien. Les bifurcations sont souvent protégées de la même manière dans les trois directions qu'elles commandent; de plus, elles comprennent des signaux indiquant la position des aiguilles, et, sur certaines compagnies, un poteau fixe indicateur de bifurcation distant de 800 mètres environ de la pointe de celles-ci.

On prend en outre des précautions spéciales pour empêcher toute collision au passage des bifurcations. La plupart des compagnies maintiennent normalement fermés les trois disques d'arrêt qui les protègent, et il est absolument interdit à l'aiguilleur de livrer passage à deux trains à la fois, bien que cependant il soit possible de le faire dans certains cas, sans entraîner de collision. Sur la compagnie du Nord, les disques d'arrêt se placent d'eux-mêmes à l'arrêt, et l'aiguilleur est obligé de maintenir à la main, pendant le passage du train, le levier de celui qui ouvre la voie, il lui est ainsi matériellement impossible d'en ouvrir deux à la fois. En outre, les règlements prescrivent au mécanicien de ralentir d'une manière très sensible et de ne jamais passer les bifurcations avec une vitesse supérieure à 20 kilomètres à l'heure.

Toutefois, on peut arriver aujourd'hui sans danger à supprimer en grande partie ces restrictions gênantes pour l'exploitation. Grâce aux appareils d'enclanchement dont nous allons parler plus bas, on peut solidariser les mouvements des disques et des aiguilles qu'ils protègent de manière à empêcher toute fausse manœuvre; et, en outre, les aiguilles sont munies d'appareils mécaniques ou verrous qui les maintiennent immobiles dans la position requise et préviennent ainsi tout dérangement.

Le sifflet électro-automoteur de MM. Lartigue et Forest. — Les signaux à vue dont nous venons de parler, assurent pleinement la sécurité des trains en service normal, pourvu toutefois que le mécanicien puisse les distinguer afin de se conformer à leurs indications. Cependant, il peut se produire telles circonstances où il lui soit matériellement impossible de les apercevoir en temps convenable; nous avons vu en effet des brouillards assez

intenses pour cacher complètement les signaux même allumés. Tel était le cas, par exemple, pour le brouillard qui amena le terrible accident de Clichy du mois de janvier 1880, où un train vint heurter à l'arrière un autre train arrêté qu'il n'avait pas aperçu. Le choc se produisit avant que le mécanicien, commençant à distinguer les lanternes rouges d'arrière du train d'avant, ait eu le temps de fermer son régulateur et de renverser la marche de sa machine.

D'ailleurs, même en dehors de ces cas exceptionnels, l'attention du mécanicien peut se trouver occupée par quelque détail sur sa machine au moment où il arrive devant le disque fermé ; il est donc souvent nécessaire de placer à côté du signal à vue un autre signal acoustique qui éveille toujours sûrement son attention.

Parmi les différents appareils qui ont été essayés à cet effet, nous citerons l'un des plus ingénieux et des plus efficaces, c'est-à-dire le sifflet de MM. Lartigue, Forest et Digney.

Dans cette disposition, des contacts fixes sont établis sur la voie à une certaine distance des disques d'arrêt, comme on le voit sur la figure 68, et ils sont reliés, pendant que le disque est fermé, par un cir-

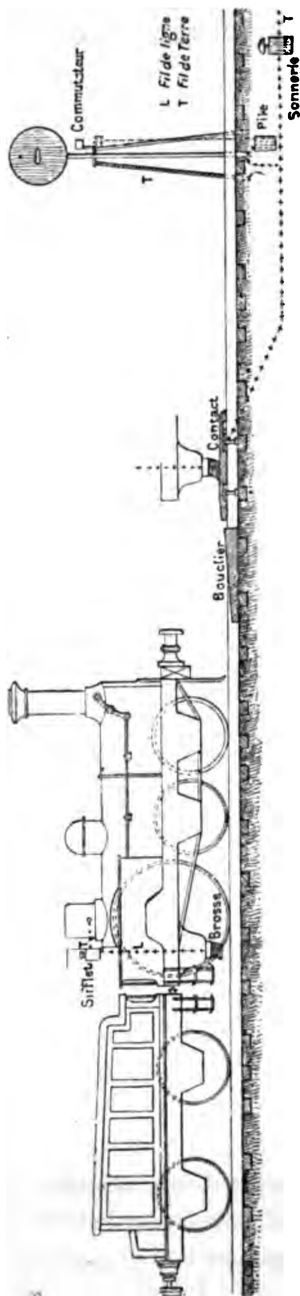


Fig. 68. — Disposition des contacts fixes, et de la machine munie du sifflet électro-automoteur de MM. Lartigue, Forest et Digney.

cuit métallique, avec le pôle positif d'une pile voisine du disque, et qui actionne déjà la sonnerie de contrôle. Le pôle négatif de la pile est en relation avec la terre, et comme les contacts sont isolés, le circuit reste normalement ouvert ; mais il se trouve fermé dès que la machine vient à passer au-dessus du contact, et le courant, recueilli par une brosse fixée au bas de la machine, arrive jusqu'au sifflet dont le son se fait entendre.

Les appareils qui permettent de réaliser cette idée sont représentés sur la figure, et disposés de la manière suivante :

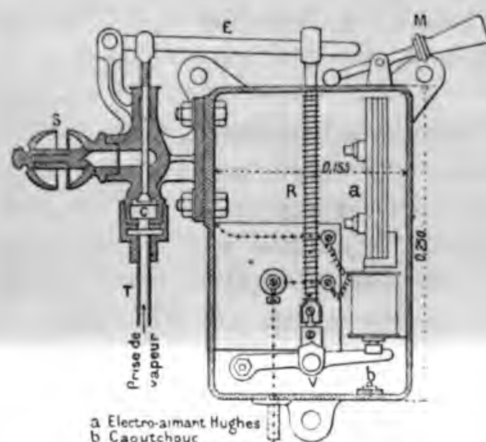


Fig. 69. — Vue intérieure de la boite du sifflet électro-automoteur.

Les contacts fixes (fig. 68) sont formés par des traverses en bois placées longitudinalement dans l'axe de la voie et recouvertes de feuilles métalliques reliées au circuit électrique comme nous l'avons dit. Sur ces contacts, vient frotter une brosse métallique fixée sur la machine à la partie la plus basse et qui recueille le courant établi par la fermeture du disque, pour le transmettre à la boîte du sifflet. Celle-ci se trouve ainsi en relation avec le pôle positif de la pile, et comme elle est rattachée d'autre part, par l'intermédiaire de la machine et des

rails, avec le pôle négatif relié à terre, le circuit se trouve dès lors complètement fermé.

Un aimant *a*, (fig. 69), fixé dans cette boîte, maintient par son attraction le levier *b* constamment appliqué au contact de l'armature en fer doux de l'électro-aimant placé dans le prolongement de ses branches. Lorsque le courant passe dans la bobine, il contrebalance l'action de l'aimant en raison du sens de l'enroulement des fils, d'après une disposition imaginée pour la première fois par M. Hughes, et qui a reçu depuis, de nombreuses applications. Le levier *b*, redevenu libre, est alors repoussé en bas par l'action du ressort R. Dans ce mouvement, il entraîne la tige E qui abaisse la soupape C, et celle-ci donne admission à la vapeur par le tuyau T jusqu'au sifflet S. Le son ainsi produit se fait entendre jusqu'à ce que le mécanicien ferme à la main le sifflet, en agissant par la manette M sur le levier E.

Appareils destinés à assurer la concordance des mouvements des aiguilles et des signaux. — Les signaux, disposés, comme nous le disions plus haut, assurent la protection des points dangereux des voies ferrées, tels que les aiguilles, bifurcations, croisements, etc.

Toutefois, la sécurité n'en repose pas moins sur la vigilance de l'aiguilleur, car il reste toujours nécessaire que cet agent ait constamment le soin de donner aux signaux des positions convenables en parfaite concordance avec les mouvements qu'il communique aux aiguilles.

On comprend par là combien il est désirable d'avoir des appareils qui préviennent automatiquement en quelque sorte les erreurs possibles, de manière à empêcher toute manœuvre capable de compromettre la sécurité.

Les premiers essais tentés dans cette voie ont été entrepris en 1856 par M. Viguier, dont les appareils sont en service au chemin de fer de l'Ouest en particulier, et y donnent toujours d'excellents résultats. Toutefois les dispositions adoptées par M. Viguier, si elles assuraient sur place les enclanche-

ments nécessaires d'une manière satisfaisante, ne se prêtent pas aux manœuvres à distance, et aujourd'hui, le dévelop-

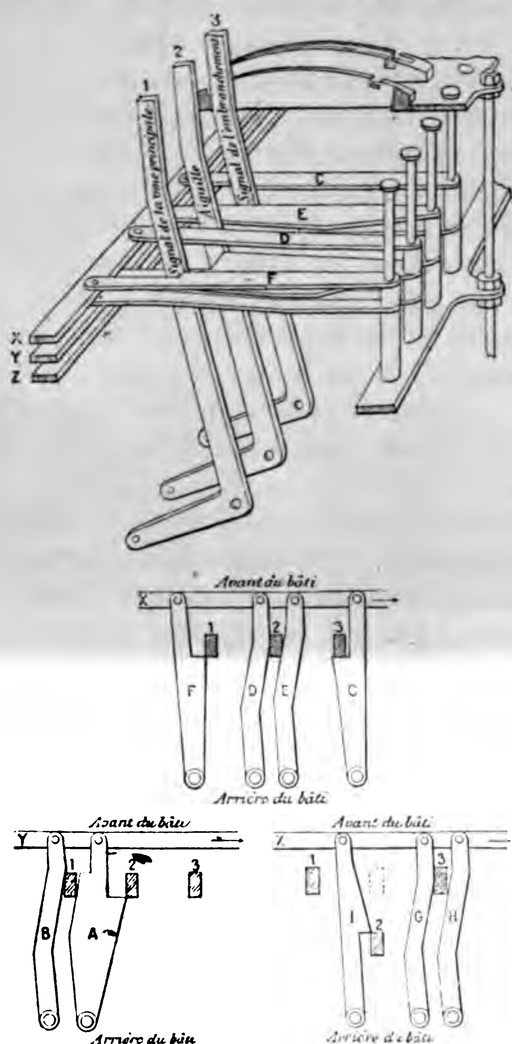


Fig. 70. — Détails des appareils d'enclanchement de MM. Saxby et Farmer.

pement incessant du trafic et la rapidité de la succession des trains obligent à concentrer en quelques points seule-

ment, surtout dans les grandes gares, les leviers de manœuvre d'un grand nombre de disques et d'aiguilles; on rencontre

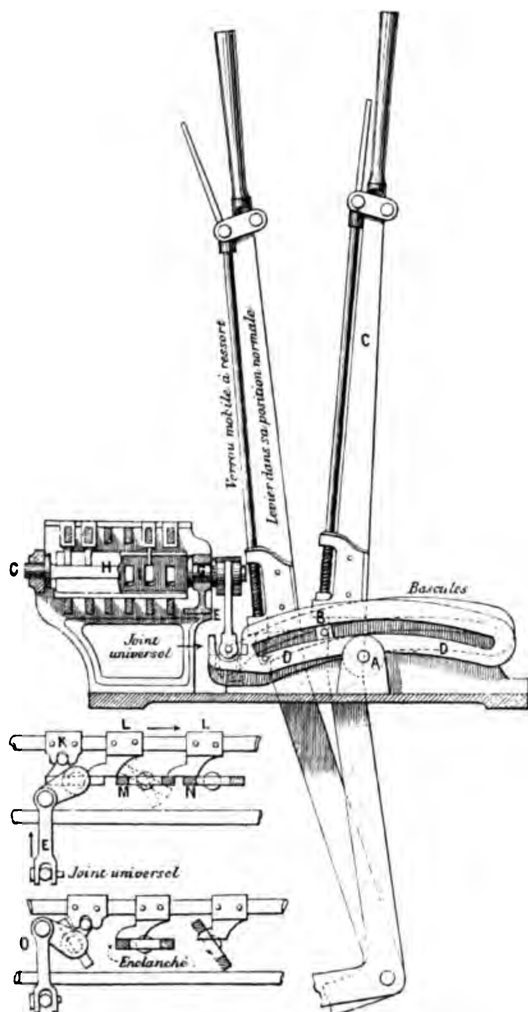


Fig. 71. — Mécanisme du levier d'aiguilles. (Nouvelle disposition.)

actuellement en Angleterre des postes qui en renferment jusqu'à soixante-dix, comme à Charing-Cross à Londres, et

commandent des aiguilles distantes parfois de plus d'un kilomètre.

Dans des conditions pareilles, le travail de l'aiguilleur acquiert une complexité énorme, et l'appareil Viguier, tel qu'il était disposé à l'origine, deviendrait manifestement insuffisant pour assurer tous les enclanchements nécessaires et prévenir les erreurs inévitables de l'aiguilleur.

Les appareils et enclanchements si ingénieux, imaginés par MM. Saxby et Farmer, réalisent pleinement ces conditions si difficiles cependant, et on a pu dire justement que, si un aveugle entrait dans un de leurs postes, et manœuvrait au hasard les leviers qui commandent les aiguilles et les disques, il arrêterait peut-être la circulation des trains ; mais il ne pourrait en aucun cas, grâce à l'habile disposition des enclanchements, entraîner jamais une collision. Aussi n'hésite-t-on pas aujourd'hui à installer dans les grandes gares des postes Saxby dans lesquels on réunit un grand nombre de leviers, disposés généralement comme l'indique la figure 72 qui représente la vue du poste de La Chapelle, auprès de la gare du Nord.

Les enclanchements établis entre ces différents leviers doivent être installés de manière à immobiliser, au moment où on vient de manœuvrer l'un d'eux, tous ceux dont le déplacement pourrait créer un danger quelconque, en laissant seulement aux autres la liberté d'être entraînés par l'aiguilleur ; c'est là un problème d'une grande complexité, dont la solution varie d'ailleurs avec les cas particuliers, et il nous est impossible d'en donner ici tous les détails ; nous nous bornerons à énoncer les conditions générales à remplir, et nous en étudierons l'application pour un cas particulièrement simple.

Ces conditions sont les suivantes :

1° *Tout étant disposé pour le passage d'un train, les aiguilles d'abord et le disque ensuite, l'ouverture de ce disque doit enclancher les aiguilles dans la position voulue ;*

2° *Chaque aiguille placée dans une position contraire à celle qui convient pour le passage, doit enclancher à l'arrêt le disque qu'il faudrait ouvrir pour donner ce passage ;*





Fig. 72 — Installation des leviers d'aiguilles et de signaux au poste de La Chapelle (chemin de fer du Nord).

3° *Un disque ouvert doit enclancher à l'arrêt les autres disques dont l'ouverture pourrait amener une collision.*

Nous allons retrouver ces différentes conditions dans l'étude des enclanchements des trois leviers qui commandent l'aiguille et les deux signaux d'une bifurcation simple sur une seule voie.

Il faut, dans ce cas, que le levier numéro 2 de la figure 69 qui correspond à l'aiguille, puisse être manœuvré indifféremment lorsque les deux autres leviers 1 et 3, reportés vers l'avant, maintiennent les disques à l'arrêt; et il faut en outre que le levier de l'aiguille, arrêté dans une position donnée, soit à l'avant, soit à l'arrière, enclanche à l'arrêt et maintienne immobile le levier correspondant au disque de celle des deux voies qui se trouve alors fermée.

On voit comment ces différentes conditions sont réalisées dans la disposition représentée, fig. 70 : chacun des leviers, dans sa course, déplace progressivement en frottant au contact, une ou plusieurs barres ou *locks*, A, B, C... G, H, I, taillées en forme de coin, qui peuvent pivoter à l'arrière autour d'un axe vertical, et impriment ainsi un certain mouvement de translation aux barres d'enclanchement X, Y ou Z sur l'une desquelles chacun de ces locks est articulé à l'avant (fig. 70). Le mouvement de ces barres d'enclanchement entraîne de son côté les autres locks qui n'étaient pas actionnés directement par le levier manœuvré, et ceux-ci viennent alors reporter, comme on le voit sur les figures, leurs parties saillantes ou ergots à l'arrière de certains leviers qu'il convient d'immobiliser, et empêchent ainsi qu'ils ne puissent être manœuvrés. Nous avons représenté des coupes faites au niveau de chacune des trois barres d'enclanchement X, Y et Z, de manière à montrer les positions occupées par les différents locks qui les commandent, lorsque les trois leviers de manœuvre, 1, 2 et 3, sont reportés vers l'avant. Dans cette situation, les disques qui couvrent les deux voies de la bifurcation sont maintenus à l'arrêt par les leviers 1 et 3, et le levier numéro 2 qui commande l'aiguille est placé de manière à ouvrir la voie numéro 1. On voit qu'en effet le levier 3, qui doit fermer la seconde voie, est

immobilisé dans cette position par l'ergot du lock C, tandis que rien ne s'oppose à ce qu'on manœuvre le levier 1 pour découvrir la voie faite par l'aiguille; mais en même temps cette manœuvre va immobiliser le levier 2, qui se trouvera enclanché par l'ergot A, et on ne pourra donc plus toucher à l'aiguille, tant que le levier 1 sera ouvert. Que si, au contraire, on avait ramené le levier 2 à l'arrière pour ouvrir la voie 3, on aurait ainsi enclanché à l'arrêt le levier 1, par le lock F, et en ouvrant le disque 3, on aurait immobilisé le levier 2 par le lock 1.

On comprend dès lors comment, au moyen de cette méthode, lorsque le nombre des leviers vient à augmenter, il est possible d'assurer tels enclanchements qu'on pourrait le désirer, à condition d'augmenter pareillement le nombre des locks et des barres d'enclanchement, et donnant en même temps aux ergots de ces locks des positions convenables ; seulement, le problème devient de plus en plus compliqué, car le nombre des combinaisons qu'il s'agit de régler s'accroît presque aussi rapidement que le carré de celui des leviers.

Tels qu'ils étaient placés directement sur les locks, derrière les leviers qu'ils enclanchent, les ergots s'usaient très rapidement; mais les nouveaux appareils de MM. Saxby et Farmer obvient complètement à cet inconvénient en reportant l'enclanchement sur le verrou mobile à ressort dont le levier est muni, comme on le voit sur la figure 71. Ce verrou est commandé par une manette sur laquelle le signaleur doit appuyer avant de manœuvrer le levier, et cette simple pression de la main, indiquant l'intention du signaleur, suffit à assurer tous les enclanchements correspondants, car cette manette ne pourrait pas s'abaisser si on ne devait pas manœuvrer ce levier qui aurait été enclanché par une manœuvre antérieure.

Le levier est muni d'un petit bloc ou saillie B, qui peut glisser dans une coulisse à bascule, mobile autour du point A. Lorsqu'il est incliné vers l'avant, le verrou mobile est logé dans l'encoche d'avant, et la partie antérieure de la bascule est abaissée ; mais elle reprend une position horizontale en oscillant autour du point



B aussitôt qu'on soulève le verrou en appuyant sur la manette. Quand on déplace ensuite le levier pour l'amener à fond de course à l'arrière, la coulisse reste immobile pendant que le coulisseau glisse à l'intérieur, puis elle s'abaisse à l'arrière quand le signaleur quitte le verrou mobile. Le premier mouvement de la coulisse, dans cette opération, a soulevé, par l'intermédiaire d'un joint universel, la tige d'assemblage E, et celle-ci agit sur une pièce plate GG en forme de gril qui joue le rôle des locks dont nous parlions plus haut. Les barres d'enclanchement indiquées par leurs coupes, au nombre de six sur la figure, sont entraînées par le tourillon K dans le mouvement du gril manœuvré, et les cales ou ergots dont elles sont munies viennent se placer au-dessus des grils des autres leviers de manière à les enclancher ou les dégager, selon qu'ils viennent butter contre les parties pleines, ou qu'ils se logent dans les trous de ceux-ci.

Cette disposition plus récente supprime toutes les difficultés qu'on avait rencontrées jusque-là; combinée avec les autres appareils de sécurité placés sur les tiges de transmission et sur les aiguilles elles-mêmes, pour les maintenir immobiles dans une position donnée, elle permet d'exécuter des manœuvres à une distance de plus d'un kilomètre avec une sécurité complète. Aussi, les postes Saxby ont reçu une application générale dans la plupart des compagnies de chemins de fer, et on en trouve maintenant dans toutes les gares de quelque importance.

Les dernières dispositions que nous venons de décrire sont les plus fréquemment adoptées, elles sont appliquées en particulier au poste de La Chapelle sur le Nord, et on reconnaît facilement sur la figure 72 les leviers avec les verrous mobiles et leurs manettes, les coulisses à bascule, les grils et barres d'enclanchement dont nous avons parlé. Ce poste comprend 16 leviers réunis en trois groupes : six commandent les disques à distance, les cinq suivants, les aiguilles, et les cinq derniers, les disques d'arrêt. Ces trois groupes de leviers sont peints de couleurs différentes, afin de guider le signaleur, et on a indiqué en même temps, sur chacun des leviers, les numéros de ceux qu'il est né-

cessaire de manœuvrer avant lui. A l'arrière du signaleur, on voit le tableau sur lequel s'inscrivent automatiquement les dépêches télégraphiques transmises par les postes voisins pour annoncer les trains, enfin les boîtes de manœuvre des électro-sémaphores dont nous parlerons tout à l'heure, et qui sont destinés à protéger les trains en marche.

Les contrôleurs d'aiguilles. — Les dispositions que nous venons de décrire assurent la parfaite concordance des mouvements des aiguilles et des signaux qui les protègent, elles empêchent en un mot l'aiguilleur de donner aux leviers de manœuvre des positions qui seraient en désaccord; mais, il reste toujours nécessaire néanmoins d'obtenir une garantie complète que l'aiguille est bien au contact du rail fixe dans la position qu'elle doit occuper. Et en outre, cet agent ne peut pas aller vérifier lui-même la position des aiguilles ni même des signaux qu'il manœuvre, et dont il ne voit souvent que les leviers; il faut donc que l'appareil lui donne une preuve palpable que la manœuvre est complètement exécutée, que l'aiguille, par exemple, est bien en place, appliquée au contact du rail fixe, et qu'aucun déraillement n'est possible sur ce point si dangereux. S'il se produit, au contraire, une rupture dans les tiges de transmission, une avarie quelconque, en un mot, il faut même que les signaux se mettent automatiquement à l'arrêt, et préviennent ainsi d'eux-mêmes les conséquences qu'un pareil accident entraînerait certainement.

MM. Saxby et Farmer ont résolu cette difficulté en disposant des verrous mobiles qui viennent s'insérer dans des trous correspondants pratiqués à cet effet sur l'entretoise de l'aiguille, et la cadenassent, en quelque sorte, lorsque celle-ci est bien en place; au contraire, si le contact n'avait pas lieu pour une cause quelconque, il serait impossible de manœuvrer les verrous, et l'aiguilleur en serait ainsi prévenu par la résistance que présenterait le levier.

En dehors de cette disposition, on a appliqué au chemin de fer du Nord un contrôleur électrique d'aiguilles dont l'invention est

due à M. Lartigue et qui donne d'excellents résultats. Cet appareil ingénieux, représenté fig. 73 et 74, qui figurait dans l'Exposition si remarquable du chemin de fer du Nord, se compose d'une sorte de commutateur à mercure formé par une boîte oscillante H, en ébonite vernie à la gomme laque, renfermant à l'intérieur une certaine quantité de mercure bien sec. La boîte est partagée en

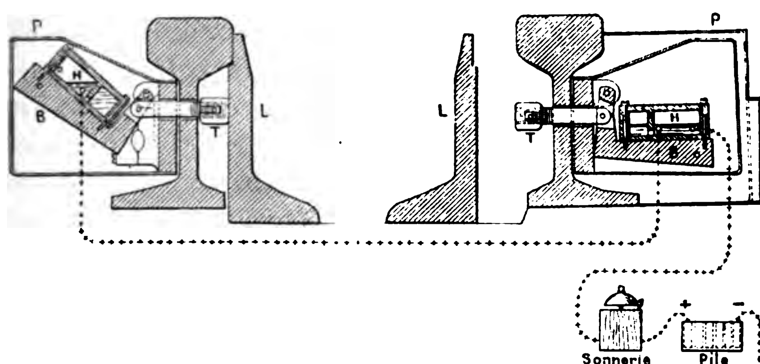


Fig. 73. — Vue du contrôleur d'aiguilles, la lame de l'aiguille étant en contact avec le rail de gauche.

deux compartiments par une cloison percée d'un petit trou, de manière à ce que le mercure s'écoule toujours assez lentement d'un compartiment dans l'autre dès que la boîte vient à s'incliner. Cette disposition a pour but de prolonger, comme on le verra tout à l'heure, le temps pendant lequel le circuit électrique est

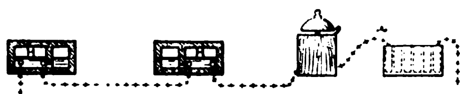


Fig. 74. — Vue, avec l'aiguille entre-bâillée et le courant fermé.

fermé. Deux fils conducteurs en platine pénètrent dans la boîte, et, comme ils sont isolés, le circuit se trouve fermé en ce point, seulement lorsque, la boîte occupant une position horizontale, le mercure les baigne tous les deux à la fois. Au contraire, dès que la boîte s'incline, l'un des fils émerge du bain, et le circuit est interrompu.

Cette boîte est montée, comme on le voit figure 73, sur une bascule B articulée sur une plaque fixe P, posée sur le côté extérieur du contre-rail en face des lames de l'aiguille. La bascule est munie d'une petite tringle horizontale T qui traverse l'âme du contre-rail, et fait une légère saillie à l'intérieur de manière à butter contre la lame L de l'aiguille lorsque celle-ci est fermée. Cette tige est terminée d'ailleurs par un écrou fileté qui permet d'en régler la saillie à un millimètre près. Cette installation est appliquée aux deux contre-rails, et les fils intérieurs des deux boîtes sont en communication entre eux. Quant aux deux autres fils, l'un descend à terre, et l'autre est relié par l'intermédiaire d'un conducteur fixe au pôle positif d'une pile placée dans le poste renfermant le levier moteur de l'aiguille. Le pôle négatif de celle-ci est relié à la terre pour compléter le circuit sur lequel est disposée une sonnerie voisine de la pile (fig. 74).

L'appareil ainsi disposé fonctionne de la manière suivante : Tant que l'aiguille est bien en place, la lame mobile, appliquée sur le contre-rail, maintient la boîte voisine inclinée, en buttant contre la tige T, comme on le voit sur la figure 73 pour le rail de gauche, le mercure est accumulé dans le compartiment intérieur, et le courant est interrompu ainsi que la sonnerie.

Quand on vient à manœuvrer l'aiguille, la boîte inclinée précédemment redevient libre, et reprend sa position horizontale, puis l'autre boîte s'incline à son tour. Il se produit donc un moment où le mercure baigne à la fois les deux fils dans les deux boîtes, et le courant qui est alors rétabli fait entendre le tintement de la sonnerie dans le poste, seulement, il se trouve intercepté au bout de peu de temps, lorsque le mercure est entièrement déplacé dans la seconde boîte. L'aiguilleur reconnaît ainsi que la lame est bien amenée en place au contact du contre-rail, car si elle restait entre-bâillée, le courant serait rétabli en permanence, et on entendrait continuellement la sonnerie. Cet agent serait prévenu par là qu'il doit vérifier l'état de son aiguille.

Dans la disposition actuellement adoptée au chemin de fer du



Nord, une seule pile et une seule sonnerie suffisent pour un groupe de plusieurs aiguilles dont les leviers sont réunis dans un même poste; seulement une boussole est placée sur le circuit devant chacun des leviers, et, au moment où il manœuvre celui-ci, l'aiguilleur reconnaît à l'inspection de la boussole s'il s'est produit un courant, et par suite, si c'est bien à l'aiguille correspondante que s'applique le tintement de la sonnerie unique.

Ces contrôleurs sont disposés de manière à être complètement à l'abri de l'humidité et des intempéries, et en outre, on a soin de les recouvrir d'un abri en fer solidement construit pour les préserver des chocs qu'ils pourraient subir sur la voie.

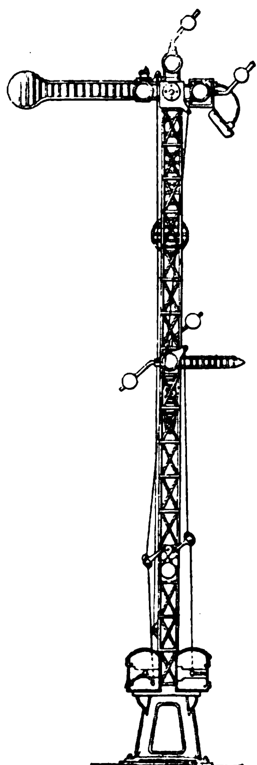


Fig. 75.— Vue de l'électro-sémaphore avec une de ses ailes et un petit bras déployés. — L'aile et le petit bras non déployés sont pendants et cachés par la colonne du sémaphore.

Le block-system et les électro-sémaphores de MM. Tesse et Lartigue. — Pour prévenir toute collision entre deux trains qui se succèdent dans la même direction sur une même voie, les règlements des diverses Compagnies de chemins de fer cherchent à maintenir entre eux un certain intervalle de temps, et ils prescrivent en général de n'expédier aucun train que cinq ou dix minutes au moins après le départ ou le passage du train précédent. On comprend immédiatement qu'une pareille garantie dépend essentiellement de l'allure des trains; elle est subordonnée à tous les incidents qui peuvent se produire en marche, et ralentir ou même arrêter un train déjà expédié sans que celui qui le suit en soit aucunement prévenu. Elle n'évite donc pas absolument tout danger, et si elle est suffisante sur les lignes dont l'exploitation est peu active, il n'en est plus de même sur les sections plus chargées; il devient alors nécessaire d'obtenir une sécurité complète;

en substituant à cette garantie de temps un peu aléatoire, une garantie d'espace beaucoup plus efficace, permettant de constater, avant d'expédier un train quelconque, que le train précédent a effectué déjà un parcours déterminé.

Ces mêmes indications sont répétées continuellement aux différents postes répartis sur la voie, de manière à maintenir ainsi constamment à la même distance deux trains successifs quelconques, en arrêtant aussi longtemps qu'il est nécessaire, celui qui se rapprocherait trop du précédent.

Tel est le principe du block-system appliqué aujourd'hui sur une si grande échelle en Angleterre, et qui se répand de plus en plus en France, à mesure que l'exploitation des voies ferrées y prend une activité comparable à celle qu'elle présente dans ce pays.

La ligne est alors partagée en un certain nombre de sections, dont la longueur varie avec l'importance du trafic, par des postes successifs constituant autant de stations qu'un train en marche ne peut franchir sans une autorisation, et le garde préposé au poste ne peut donner celle-ci qu'autant qu'il a reçu du poste en avant l'avis que le train précédent est bien sorti de la section comprise entre les deux.

Les appareils employés à cet effet sur les lignes ainsi exploitées se bornaient généralement, jusqu'en 1872, à donner, sur des cadrans à aiguilles, des indications que les gardes répétaient en manœuvrant les signaux à vue destinés aux mécaniciens. Plus tard, MM. Siemens et Halske eurent l'idée de solidariser ces indications avec les signaux optiques, de manière à empêcher toute erreur de la part des gardes, et ils établirent entre ces appareils une dépendance telle qu'il fut impossible au garde d'ouvrir les signaux à vue tant qu'il n'aurait pas reçu du poste en avant l'avis que la voie était libre en effet. La disposition qu'ils adoptèrent va même jusqu'à empêcher le gardien d'un poste de débloquer à l'arrière la section précédente, avant d'avoir manœuvré son appareil de manière à couvrir la section suivante, occupée alors par le train en marche. Leurs électro-sémaphores sont appliqués sur diverses lignes allemandes et belges, et ils figuraient à l'Exposition de 1881.

Du reste, on a reconnu combien il était nécessaire de solidariser les signaux à vue avec les indications transmises aux gardes, et les dispositions présentées par les différentes Compagnies à l'Exposition d'électricité réalisent cette idée en employant généralement des serrures électriques installées de manière à fermer le disque d'arrêt, tant que le pène n'est pas déclenché par un courant venu du poste avant pour annoncer la sortie du train hors de la section. On en trouve des exemples dans les modifications

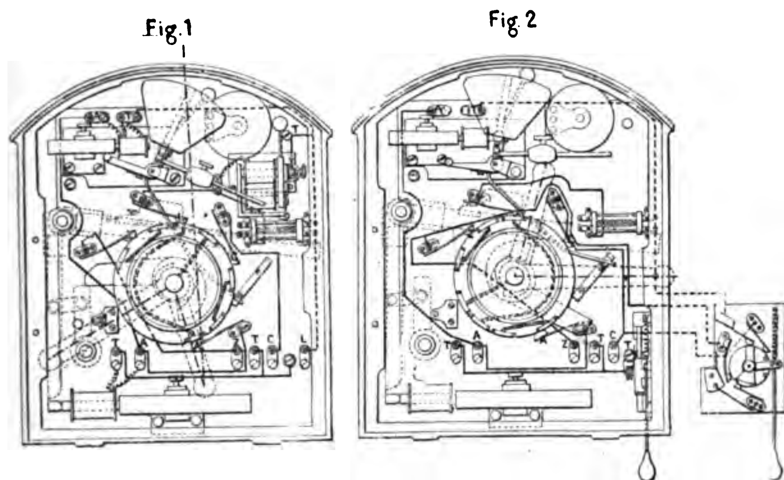


Fig. 76. — Vue intérieure des deux boîtes de manœuvre n° 1 et n° 2 de l'électro-sémaphore Lartigue.

Boîte n° 1. Grande aile apparente, appareil enclenché.

Boîte n° 2. Petite aile apparente, appareil déclenché. Le commutateur de droite agit sur la sonnerie de l'appareil n° 1 du poste voisin.

apportées par les compagnies de Lyon et de l'Ouest aux appareils Tyer et Regnault pour les rendre automatiques.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces perfectionnements, intéressants cependant, et nous décrirons seulement un autre appareil également automatique, qui assure la sécurité d'une manière tout aussi efficace, et en évitant même tous les inconvénients inhérents à ces premiers appareils ; nous voulons parler de l'électro-sémaphore, imaginé en 1872, quelques mois même

avant celui de M. Siemens, de concert avec M. Tesse, par M. Lartigue, alors ingénieur au chemin de fer du Nord, et actuellement directeur de la Compagnie des téléphones.

L'électro-sémaphore de M. Lartigue assure la solidarité nécessaire entre les indications adressées aux gardes et les signaux à vue destinés aux mécaniciens, en les transmettant simultanément par un même courant électrique. Grâce à cette disposition, comme dans celle de MM. Siemens et Halske, le signal qui couvre une section occupée par un train ne peut même pas être effacé par le poste d'arrière qui l'a mis à l'arrêt, mais seulement par l'action d'un courant venu du poste d'avant, et transmis par le garde qui voit le train complet sortir de cette section.

Cet électro-sémaphore, qui figurait à l'Exposition universelle de 1878 et qui occupait une place si importante à celle d'Électricité de 1881, est appliqué actuellement sur les lignes les plus chargées du réseau du Nord, ainsi que sur différentes sections des réseaux de l'Est et d'Orléans, et sur certaines voies russes. Cette application a été limitée jusqu'à présent sur les grandes compagnies aux lignes à double voie, mais l'appareil peut être transporté d'ailleurs avec de légères modifications sur les lignes à voie unique, comme nous le dirons plus bas.

Dans l'installation adoptée par M. Lartigue, chacun des postes est muni d'un électro-sémaphore, mis en communication électrique avec le poste précédent et le poste suivant sur la voie.

L'électro-sémaphore des postes intermédiaires, tel qu'il est représenté sur la figure 75, comprend un grand mât de 8 mètres de hauteur environ sur lequel sont disposées deux grandes ailes mobiles placées à la partie supérieure et se développant, chacune à la gauche du mât eu égard à la direction qu'elle protège. Il faut y ajouter en outre deux petits bras qui se développent horizontalement à droite et à mi-hauteur du mât. Au bas du sémaphore, sont fixées quatre boîtes de manœuvre dont deux, type n° 1 pour les grandes ailes, et deux, type n° 2 pour les petits bras, et elles permettent ainsi au garde d'agir sur le signal correspondant en actionnant la manivelle extérieure de la boîte, fig. 76.

Enfin un carillon destiné à prévenir le garde annonce l'envoi [illegible]'un train par les deux postes voisins dans l'une ou l'autre des [illegible]ux directions. Les boîtes de manœuvre des mâts sémapho[illegible]es sont réunies entre elles par un fil double permettant [illegible]xpédier d'un poste à l'autre deux courants différents, l'un pour l[illegible]oie montante, et l'autre pour la voie descendante.

[illegible]'aile développée et placée horizontalement commande l'arrêt [illegible] trains qui la voient à la gauche du mât, et elle leur montre [illegible]s sa face rouge, pendant la nuit elle présente un feu rouge et [illegible] feu vert, elle est sans signification pour les trains allant dans [illegible] direction inverse, qui la voient à la droite du mât.

Chacun des petits bras se développe au contraire à droite : [illegible]s indications ne s'adressent pas d'ailleurs au mécanicien, et il [illegible]st uniquement destiné à laisser une trace permanente à l'agent du sémaphore de l'avis qui lui est transmis par le poste précédent de l'entrée d'un train sur la section.

Le petit bras d'un poste est toujours solidaire en effet de la grande aile du poste précédent pour un sens déterminé de la marche; ils sont commandés par le même courant et ils sont effacés par une manœuvre unique.

Seulement, la manœuvre qui les fait apparaître à la fois est exécutée au poste d'arrière qui fait faire une rotation de 210° à la manivelle de sa boîte n° 1, et amène ainsi dans une position horizontale le petit bras du poste avancé, en même temps que l'aile de son mât pour couvrir un train pénétrant sur la section, et la manœuvre qui les efface, au contraire, peut être exécutée seulement au poste d'avant en agissant sur la manivelle de la boîte n° 2. Il faut remarquer d'ailleurs que les manœuvres nécessaires pour couvrir une section et débloquer la précédente sont exé-[illegible] le garde, et qu'elles ne sont plus solidaires entre elles, comme [illegible] l'appareil Siemens. On a reconnu, en effet, que cette dépendance [illegible]sentait de graves inconvénients, lorsqu'il fallait [illegible]rer le gar[illegible] d'un train dans une station non prévue par son i[illegible]raire, puisq[illegible] devenait impossible de débloquer le poste d'a[illegible]re. L'appar[illegible]rtigue échappe entièrement

à cette difficulté, et d'ailleurs, on pourrait aisément, si on le désirait pour les postes en pleine voie, solidariser les deux manœuvres, en reliant les manivelles des deux boîtes d'un même poste.

La figure 76 représente la vue intérieure des deux types de boîtes de manœuvre d'un électro-sémaphore telles qu'elles sont actuellement disposées sur le chemin de fer du Nord; nous les avons reproduites pour en donner une idée à nos lecteurs; mais la description complète de cet ingénieux mécanisme serait trop longue et délicate pour que nous puissions l'exposer ici, et nous devons nous borner à en indiquer le principe.

Sur le levier de manœuvre, est calé à l'intérieur de chacune des deux boîtes un disque en ébonite formant commutateur représenté par le grand cercle qu'on voit au milieu. Celui-ci tourne entre quatre frotteurs A, Z, L, C, qui appuient sur la circonférence, comme l'indique la figure, et dans son mouvement de rotation, il établit entre eux par l'intermédiaire des conducteurs représentés par des lignes pointillées, des communications électriques différentes : il peut ainsi relier le pôle positif C ou négatif Z de la pile motrice, soit avec la terre en T, soit par le frotteur A avec les électro-aimants, inférieur ou supérieur, ou enfin avec le fil de ligne L qui est rattaché à la boîte n° 2 du poste suivant. Les deux aimants sont du système Hughes, et leurs branches sont munies, comme on sait, de cylindres en fer doux entourés de bobines enroulées de manière à ce que le passage du courant contre-balance la force attractive de l'aimant. Celui du bas est désaimanté sous l'influence d'un courant de sens négatif, et celui du haut sous l'influence d'un courant positif.

En agissant sur le levier de manœuvre, le garde met à l'arrêt la grande aile de son sémaphore, et communique en même temps un mouvement de rotation dans la boîte au disque central. Celui-ci entraîne avec lui le doigt saillant qu'on voit à droite, ce dernier vient buter contre la tige de l'armature de l'électro-aimant inférieur. D'autre part, le jeu des frotteurs amène dans le fil de ligne un courant négatif qui se transmet dans la boîte n° 2 du poste suivant, il y suspend l'action de l'aimant inférieur, et le

butoir qui s'y trouvait déjà au contact de l'armature peut tourner librement avec le disque central lorsque celle-ci s'écarte de l'aimant. Les tiges qui commandent le petit bras du sémaphore sont alors entraînées avec la manivelle et le commutateur, et le petit bras se développe horizontalement. En outre, par l'intermédiaire de cames et de leviers convenablement disposés, le disque, en tournant, relève le voyant V devant la fenêtre de la boîte qu'il amène au rouge et donne un coup sur le timbre de droite, ce qui donne ainsi un signal optique et acoustique pour prévenir l'agent du poste. Enfin un courant positif en retour est ramené automatiquement au poste expéditeur, dont il actionne également le timbre et le voyant en agissant sur l'électro-aimant supérieur, et il donne ainsi la preuve complète que le signal a bien été transmis.

Ces appareils fonctionnent d'ailleurs sans qu'on observe guère aucune défaillance, car l'électricité n'a aucun effort mécanique à développer : tout s'opère sous l'action de contre-poids qui sont les signaux eux-mêmes. La grande aile se place horizontalement sous l'action mécanique du levier de manœuvre, de même que le petit bras qui se tient horizontal sous l'influence du contre-poids est effacé mécaniquement en manœuvrant la boîte au bas de son mât, et ces signaux sont seulement déclenchés à distance par les courants, et reprennent alors librement leur position d'équilibre.

On remarquera à droite sur la boîte n° 2 le commutateur placé sur la paroi latérale, qui sert à changer le sens du courant transmis sur le fil de ligne, il se compose également d'un disque circulaire tournant entre quatre frotteurs, il permet aux gardes de se tenir en relation entre eux par une sonnerie, et de se transmettre certaines indications conventionnelles en tournant le disque à l'aide d'une petite corde sortant hors de la boîte sans que cette manœuvre influe d'ailleurs sur la position des signaux.

La compagnie de Lyon emploie depuis quelque temps déjà à cet effet les avertisseurs Jousselin qui sont formés d'un cadran vertical disposé à côté des appareils Tyer. Celui-ci porte douze phrases différentes inscrites à l'avance, et les gardes se transmettent l'un de ces avis en envoyant des courants qui déplacent l'aiguille indicatrice.

C'est là une des garanties les plus précieuses qu'on puisse désirer pour la sécurité, car un stationnaire qui remarque quelque chose d'anormal sur un train en marche au moment de son passage ne peut plus l'arrêter pour prévenir le mécanicien ; mais il peut transmettre au poste avant l'avis de retenir et d'examiner ce train.

Nous avons représenté sur la figure 77 l'application des électro-sémaphores sur les voies principales du chemin de fer du Nord, au départ de Paris, jusqu'au kilomètre 6, un peu avant Saint-Denis. Cet exemple fournit en même temps l'un des plus intéressants qu'on puisse signaler des grands travaux de terrassement exécutés par la Compagnie pour reporter à des niveaux différents les croisements des voies principales dirigées en sens contraire : ces travaux sont même plus importants que nous ne l'indiquons, car nous avons dû supprimer pour l'intelligence de la figure les raccordements des voies de marchandises.

La première voie qu'on distingue à gauche en F, se dirige à droite vers Chantilly en passant par un tunnel sous les deux voies de Pontoise obliquées à gauche auprès de Saint-Denis, la seconde D se dirige vers Pontoise, la troisième B revient de cette direction, la suivante A va à Soissons, et la dernière E revient de Chantilly en passant sous la voie d'aller de Soissons et elle se raccorde à niveau avec la voie de retour venant de cette direction.

Quant aux sémaphores indiqués, ils ne sont pas identiques au type normal, sauf les deux derniers, voisins de Saint-Denis. Les sémaphores D et FD protègent en effet les deux voies de gauche allant l'une à Chantilly et l'autre à Pontoise, tandis que les sémaphores BB et BCE protègent les voies de retour correspondantes BC et E. Il en résulte que les deux ailes d'un même sémaphore se développent alors dans une direction unique, et on a dû les placer, de même que les petits bras, à des hauteurs différentes pour éviter toute confusion. L'aile et le bras les plus élevés protègent la direction de Pontoise, et ceux d'en bas celle de Chantilly. La voie allant à Soissons, qui possède seulement l'électro-sémaphore muni du petit bras A, n'a pas encore reçu d'autres applications de ces appareils.



Fig. 77. — Vue figurative, entre Paris et Saint-Denis, des cinq grandes voies principales du chemin de fer du Nord allant à Pontoise, Chantilly et Soissons.

Disposition des croisements à niveaux différents, et installation des électro-sémaphores destinés à protéger les trains sur cette section.

A. Train allant à Soissons.

B et C. Train venant de Pontoise.

D. Train allant à Pontoise.

E. Train venant de Chantilly.

F. Train allant à Chantilly.





Dans ces conditions, on voit que le train F allant à Chantilly est annoncé à l'avant par le bras inférieur développé à droite F du sémaphore FE, et protégé à l'arrière par l'aile inférieure F de FD. Le train D qui va à Pontoise est annoncé par le bras supérieur D de celui-ci, et protégé par l'aile supérieure développée à gauche D du sémaphore du premier plan. La cabine qu'on voit au-dessous est celle du poste de La Chapelle dont nous avons donné la vue avec les neuf boîtes des trois sémaphores dans la figure 72. Le train B arrive de Pontoise, il est annoncé par le petit bras B du sémaphore BB, et protégé par l'aile B du sémaphore BCE. De plus, il est arrêté par l'aile B' du sémaphore d'avant actuellement à l'arrêt, indiquant ainsi que la section d'avant qu'on ne voit pas sur la figure est encore occupée par un train. Dans le lointain, sur la même voie, le train C est annoncé par le petit bras C de BCE, et protégé par l'aile C du sémaphore du dernier plan. Le train A allant à Soissons doit être annoncé plus tard par le bras A du petit sémaphore. Le train E qui vient de Chantilly est annoncé par le bras inférieur E de BCE développé à droite, et couvert par l'aile E de FE développée à sa gauche.

La protection des trains sur les voies uniques. — Sur les voies uniques, il est important avant tout de prévenir les collisions, et les signaux doivent être disposés de manière à empêcher absolument deux stations voisines d'expédier simultanément deux trains dirigés en sens contraire. L'électricité joue dans ce cas un rôle de la plus haute importance dans l'exploitation, car elle permet aux différentes stations réparties sur la voie de se tenir en communication continuelle, et d'être ainsi toujours exactement renseignées sur la position des trains en marche. La plupart des règlements de chemins de fer prescrivent en effet de n'expédier aucun train sans en avoir prévenu la station d'avant, et s'être bien assuré auprès d'elle que la voie est libre en effet.

Malgré toutes ces précautions, il se produit encore quelquefois des erreurs dont les conséquences peuvent être fatales, et il importe de disposer de signaux qui protègent la voie automatiquement pour ainsi dire.

Les électro-sémaphores Lartigue dont nous venons de donner la description pour les lignes à double voie peuvent également s'appliquer d'une manière aussi heureuse moyennant de légères modifications, sur les lignes à voie unique : dans ce cas, les deux petits bras inférieurs des sémaphores qui servaient seulement à transmettre un signal d'avertissement sont utilisés dès lors pour empêcher toute expédition d'un train marchant en sens contraire de celui qu'ils annoncent, et ils enclenchent à l'arrêt la grande aile du poste avant commandant la direction de retour lorsqu'ils sont développés horizontalement par le poste arrière. Les grandes ailes sont d'ailleurs toujours maintenues à l'arrêt en temps normal, seulement il est impossible au garde de les effacer tant que le petit bras inférieur est déployé, et il ne peut ainsi jamais autoriser l'admission d'un train allant à la rencontre de celui qui occupe déjà la section.

On comprend dès lors comment s'effectue la manœuvre : Au moment d'expédier un train, le stationnaire de départ manœuvre sa boîte n° 1 et envoie un courant qui va prévenir le poste d'avant et développe le bras inférieur droit de celui-ci. Le courant en retour qui revient au poste de départ déclenche la grande aile de celui-ci, et le stationnaire peut alors seulement l'effacer pour admettre le train dans la section. Tout train qui se présenterait au poste en avant dans la direction contraire ne pourrait pas y pénétrer puisqu'il trouverait la grande aile correspondante à l'arrêt, clavetée par le bras inférieur. Dès que le train arrive à l'extrémité de la section, le stationnaire d'avant efface le bras inférieur en manœuvrant son appareil n° 2, et il prévient ainsi le poste arrière du passage du train ; il peut effacer, d'autre part, son aile supérieure gauche si elle n'est pas clavetée par le poste avant, en envoyant un courant à celui-ci comme le poste d'arrière l'a fait pour lui, et le train peut continuer sa marche. S'il y a un train en retour, il prévient également le poste arrière en manœuvrant la boîte n° 1 correspondant à la direction de retour, et il efface librement sa grande aile supérieure de retour qui vient d'être déclavetée par le courant ainsi transmis.

Cet appareil très ingénieux est en service actuellement sur les lignes de Picardie et sur certaines voies russes, auprès de Varsovie, et l'usage en est appelé à s'étendre de plus en plus, à mesure que le trafic des lignes à voie unique deviendra plus considérable.

En France, on emploie généralement des sonneries électriques qui mettent en communication les stations successives, et sont même installées dans les postes de garde-barrières répartis sur la voie. Le sens de la circulation des trains est indiqué par une sonnerie d'un nombre déterminé de coups, et tous les agents répartis sur la voie se trouvent ainsi prévenus en les entendant. Si à peu d'intervalle les deux sonneries différentes venaient à tinter, ils reconnaîtraient ainsi qu'on a dû expédier des gares voisines deux trains marchant en sens contraire, et ils devraient faire immédiatement les signaux d'arrêt dans les deux directions.

Les cloches Léopolder qui sont usitées en Autriche, et appliquées également en France aux chemins de fer de Lyon et d'Orléans, fournissent un exemple de ces sonneries actionnées par des courants directs. Le mouvement du marteau qui frappe sur les cloches est pris sur un mécanisme de tourne-broche dont le déclenchement est produit par l'armature d'un électro-aimant, déplacée elle-même par une rupture du courant. En interrompant le circuit plus ou moins longtemps, on produit des coups plus ou moins espacés qui constituent des signaux conventionnels. Le circuit qui relie toutes les cloches intermédiaires comprises entre deux stations, est maintenu normalement fermé, et les postes intermédiaires eux-mêmes peuvent produire des signaux en agissant sur un interrupteur scellé en temps normal.

Les cloches allemandes de Siemens appliquées sur le chemin de fer du Nord, utilisent les courants d'induction ; mais d'ailleurs le principe du fonctionnement reste le même. En manœuvrant son inducteur, la station de départ détermine des courants qui passent dans les différents postes intermédiaires, et y produisent les signaux convenables. Ces postes toutefois ne peuvent pas donner de signaux, puisqu'ils n'ont pas d'inducteur.

automatique en un mot, et c'est sous cette dernière forme qu'il est aujourd'hui le plus répandu en Europe.

Frein non automatique. — Dans l'ancienne installation, dont nous allons donner brièvement la description afin de faciliter l'intelligence des dispositions nouvelles, un réservoir à air comprimé est installé sur la locomotive, et mis en communication, par une conduite spéciale régnant sur toute la longueur du train, avec le cylindre à freins dont chaque véhicule est muni. Ces cylindres renferment à l'intérieur un piston qui se trouve chassé par la pression de l'air comprimé venant de la conduite, et le mouvement ainsi déterminé entraîne, par l'intermédiaire de chaînes et de leviers convenablement disposés sous le châssis de la voiture, les sabots des freins qui viennent s'appliquer sur les bandages des roues de celle-ci.

La conduite partant du réservoir de la machine, est garnie à l'orifice, d'un robinet à trois voies au moyen duquel, au moment de l'arrêt, le mécanicien peut y admettre l'air comprimé afin d'y propager la pression qui se transmet immédiatement dans le cylindre à freins, et détermine ainsi le serrage; s'il veut au contraire desserrer les freins, il lui suffit de mettre cette conduite en communication avec l'atmosphère, par une manœuvre convenable du robinet; les pistons des cylindres à freins reviennent alors en arrière, et les sabots s'écartent des bandages des roues.

L'air renfermé dans le réservoir est comprimé par une pompe spéciale fixée sur la boîte à feu de la locomotive et empruntant la vapeur de la chaudière. La pression est toujours maintenue constante dans ce réservoir, d'une manière automatique pour ainsi dire, car la pompe entre d'elle-même en action lorsqu'elle vient à s'abaisser, et elle s'arrête au contraire, quand celle-ci est arrivée à une limite déterminée.

Frein à air comprimé continu et automatique. — Dans ce dernier type, M. Westinghouse a conservé, comme dans le premier, la conduite générale, les cylindres à freins, la pompe et le réservoir de la machine; seulement la pression de l'air comprimé règne en permanence à l'intérieur de la conduite, et il faut la



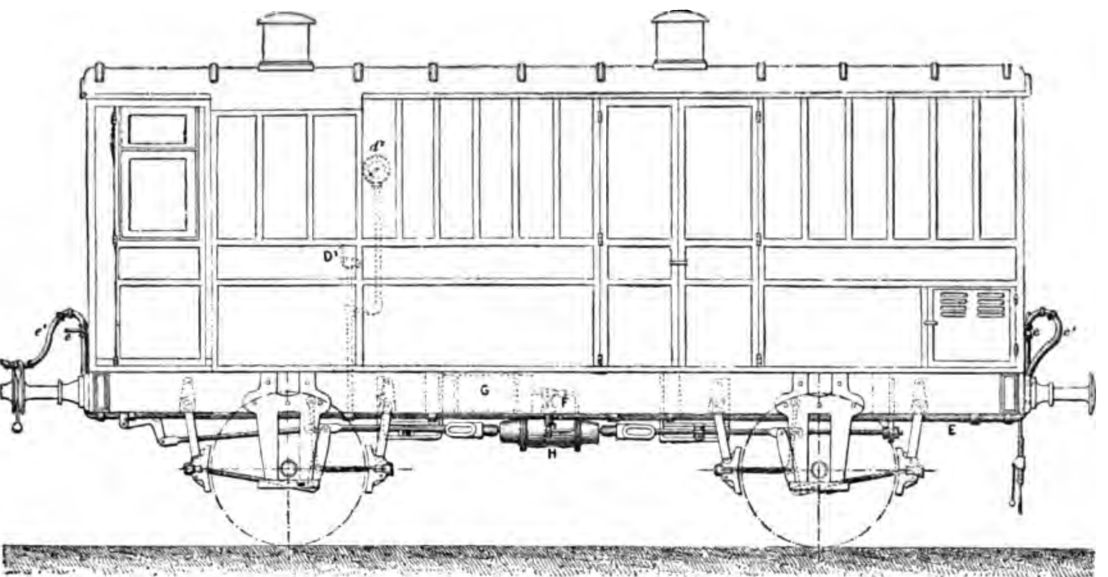


Fig. 78. — Vue extérieure d'une voiture munie du frein Westinghouse.

(Voir la légende fig. 79, avec le plan du châssis.

D¹, robinet fixé sur un tuyau de raccordement avec la conduite, et qu'on peut ouvrir de la voiture pour actionner les freins.

d^2, manomètre indicateur de la pression dans la conduite.

truire au contraire en établissant une communication avec l'atmosphère, quand on veut serrer les freins. Ainsi disposé, le frein

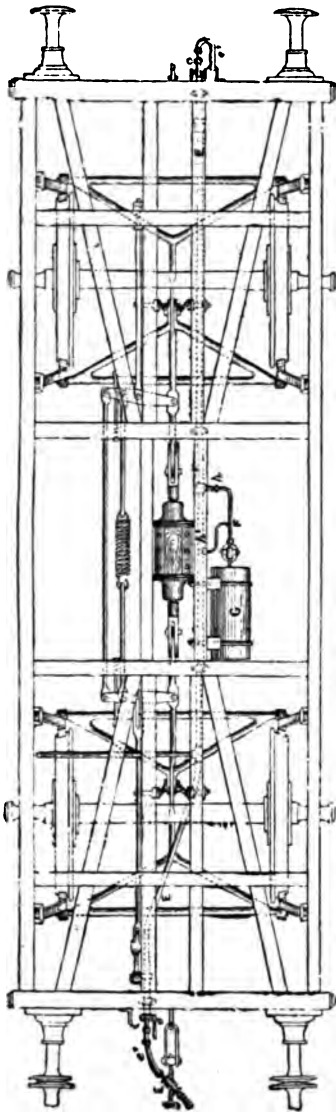


Fig. 79. — Plan du châssis d'une voiture munie du frein continu Westinghouse.

E, conduite générale.
G, réservoir d'air comprimé de la voiture.
H, cylindre à freins de la voiture.
F, triple valve.
ee', raccordement de la conduite avec les voitures voisines.
h, branchement allant de la conduite générale à la triple valve.
g, branchement allant de la triple valve au cylindre à freins.

vient bien automatique, puisque toute avarie capable de déterminer une fuite amènerait par là même une dépression qui pro-

voquerait le serrage. Il devient également facile aux conducteurs placés dans les fourgons de mettre les freins en action par une simple manœuvre de robinet comme D[1] (fig. 78), et on pourrait même donner cette faculté aux voyageurs si on le jugeait convenable.

D'autre part, pour desserrer les freins, le mécanicien n'a qu'à relever la pression à l'intérieur de la conduite, en rétablissant la communication avec le réservoir d'air comprimé ; tandis que, de son côté, la pompe entre en mouvement pour refouler la quantité d'air perdue dans le serrage précédent.

Installation du frein automatique. — M. Westinghouse est arrivé à réaliser ces conditions, au moyen de la disposition représentée dans les figures 78 et 79. Indépendamment du cylindre à frein H, chaque wagon est muni d'un réservoir à air comprimé spécial G, et ces deux appareils sont en communication avec la conduite par deux tuyaux de raccord différents, réunis en F sur un tronc commun. On a interposé en ce point une sorte de robinet à trois voies spéciales appelé *triple valve* (fig. 79 et 80), qui est destiné à établir, en temps convenable, la communication, soit de la conduite générale avec le réservoir d'air comprimé, ou bien de celui-ci avec le cylindre à freins, ou enfin de ce dernier avec l'atmosphère.

En marche normale, l'air de la conduite générale se répand librement, par l'intermédiaire de la triple valve, dans le réservoir du wagon, isolé alors du cylindre à freins, tandis que ce dernier se trouve au contraire en libre communication avec l'atmosphère. Quand on veut serrer, la dépression qu'on détermine dans la conduite met en action la triple valve, et la communication s'établit seulement entre le réservoir et le cylindre à freins, alors entièrement isolé de l'atmosphère. Dans ces conditions, la pression d'air comprimé actionne le piston de ce cylindre, comme dans la disposition non automatique, et applique par suite les sabots sur les bandages. Si on vient alors à desserrer, l'air comprimé qui est réadmis dans la conduite, ramène la triple valve à sa position initiale.

Détails de la triple valve. — Nous avons représenté sur la



figure 80 la coupe du dernier modèle adopté pour cet organe, qui est réellement l'un des appareils les plus ingénieux qu'on puisse rencontrer.

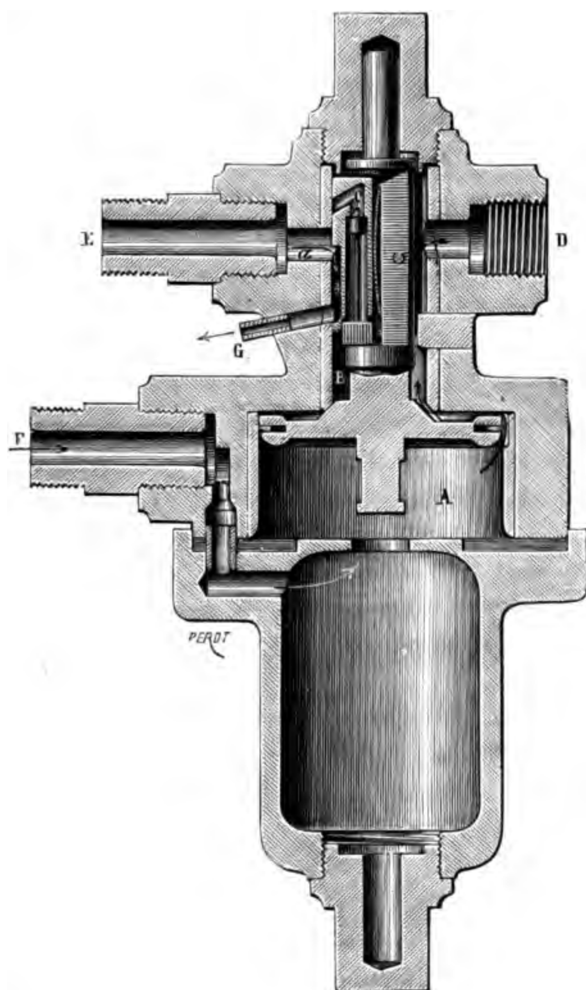


Fig. 80. — Coupe de la triple valve du frein automatique à air comprimé.

La triple valve comprend, comme on le voit, deux chambres A et B de diamètres différents, maintenues isolées par un piston mobile oscillant à l'intérieur de A. Dans la position représentée,

ce piston ouvre la communication entre ces deux chambres par l'intermédiaire de la petite rainure pratiquée dans la paroi de droite; il la ferme au contraire, dès qu'il masque cette rainure en s'abaissant à l'intérieur de A. Cette chambre reste en communication permanente avec la conduite par le tuyau commun F; la chambre B débouche, dans le réservoir par le tuyau D, et dans le cylindre à freins par le tuyau E, quand il est démasqué par le tiroir mobile C.

Sur la figure, le piston refoulé par la pression de l'air de la conduite est au haut de sa course ainsi que le tiroir, et le cylindre E est en communication seulement avec l'atmosphère par le tuyau O ; le frein est desserré. S'il se produit au contraire une dépression dans la conduite, et par suite en A, l'air comprimé du réservoir agissant sur la face supérieure abaissera le piston à fond de course, et le tiroir ainsi entraîné découvrira peu à peu l'orifice du cylindre à freins en l'isolant de l'atmosphère, ce qui permettra à l'air comprimé de s'y répandre librement, et d'exercer son action pour produire le serrage.

Enfin lorsque la pression se relèvera dans la chambre A, le piston sera soulevé, et viendra reprendre sa position initiale, tandis que l'air sortant du cylindre à freins s'échappera librement au dehors.

Cet appareil permet d'obtenir un serrage gradué dans une certaine mesure, car il suffit de déterminer dans la conduite un abaissement modéré de pression pour que le piston P descende doucement et s'arrête environ à la moitié de sa course. La soupape C qui fait corps avec lui est entraînée immédiatement, tandis que le tiroir ne se déplace que faiblement, si l'on ne dépasse pas trop le jeu qui lui est réservé ; l'air comprimé ne peut alors pénétrer dans le cylindre à freins, le long de la soupape, qu'en suivant un chemin étranglé, ce qui entraîne une chute de pression, et diminue l'intensité du serrage.

On voit, comme nous l'avons dit, que toute avarie capable de déterminer une fuite entraîne par là même le serrage des freins. Il importait cependant d'éviter qu'une fuite légère et sans



importance n'entraînât un serrage intempestif. M. Westinghouse avait voulu y remédier à l'aide d'un appareil spécial; mais plus tard, il a reconnu qu'il pouvait y renoncer, et il s'est contenté de pratiquer dans le fond du cylindre à freins une rainure qui permet à l'air comprimé, s'il arrive lentement dans le cylindre, de s'échapper en suivant cette voie sans déplacer le piston, de sorte qu'il n'exerce aucune action sur les freins. Enfin, cet inventeur ingénieux a disposé également sur le cylindre à freins une soupape régulatrice destinée à donner à chaque instant au serrage l'intensité la plus convenable, eu égard à la vitesse du train, pour produire le maximum d'effet utile, et éviter le calage des roues, qui est nuisible pour le matériel et moins efficace même pour l'arrêt.

Accouplement des tuyaux. — Nous terminerons par la description de l'accouplement imaginé par M. Westinghouse pour réunir les tuyaux de deux véhicules successifs. Comme la pression d'air comprimé règne d'une manière permanente dans la conduite, il était nécessaire de fermer l'orifice des tuyaux toutes les fois qu'on les séparait, et de l'ouvrir au contraire toutes les fois qu'on voulait accoupler les tuyaux. La disposition adoptée par M. Westinghouse permet d'éviter cette double manœuvre, car elle constitue une sorte de robinet qui s'ouvre de lui-même quand on réunit les wagons, et qui se ferme au contraire quand on veut les séparer, tout en restant ouvert néanmoins sans se briser dans le cas d'une rupture d'attelages.

Les deux parties A et A′ de l'accouplement sont absolument symétriques, elles présentent deux saillies qui les maintiennent rapprochées en temps normal, et qui peuvent cependant glisser l'une sur l'autre sous un effort de traction violent. L'un des tuyaux est représenté en coupe dans la figure 81, il comprend une valve à papillon maintenue par le ressort supérieur hermétiquement appliquée sur son siège en caoutchouc, elle est manœuvrée par une tige portant extérieurement un bras B qu'il faut tourner forcément de manière à ouvrir la valve pour assurer l'accouplement des tuyaux. Il faut au contraire fermer celle-ci en

agissant sur le bras B pour pouvoir séparer les pièces à la main.

Frein à vide, système de M. Smith. — Au lieu d'employer l'air comprimé pour transmettre dans les cylindres à freins l'effort moteur nécessaire, on peut procéder d'une manière inverse, en faisant au contraire le vide derrière le piston mobile qui se trouve alors entraîné sous l'effort de la pression atmosphérique.

Telle est l'idée des différents types de freins dans lesquels on a appliqué l'air raréfié. Ces dispositions se recommandent en général par leur grande simplicité d'installation, tenant à ce que le vide peut être établi sans aucun appareil mécanique; toutefois elles présentent cet inconvénient qu'il faut augmenter le diamètre des conduites pour obtenir la même efficacité qu'avec l'air comprimé, puisque la pression motrice est nécessairement limitée à celle de l'atmosphère.

En outre, tel qu'il est appliqué généralement, le frein à vide n'est pas automatique, c'est-à-dire qu'il n'est pas en état de révéler lui-même ses défaillances, comme le frein si ingénieux de M. Westinghouse.

Quoi qu'il en soit, la question de la préférence à accorder aux deux types qui ont à la fois leurs avantages et leurs inconvénients correspondants, qui sont peut-être appropriés à des modes d'exploitation spéciaux, est loin d'être entièrement tranchée aujourd'hui, et il faut attendre la sanction de la pratique afin d'émettre un jugement définitif.

Nous décrirons ici le mode principal d'application du frein à vide, celui de M. Smith, le plus répandu de tous, et le rival du Westinghouse.

Comme dans les autres dispositions, le frein de M. Smith comprend une conduite générale régnant d'une extrémité à l'autre du train, et par laquelle le vide se propage dans les différents cylindres à freins. Dans l'installation primitivement adoptée, ces cylindres étaient constitués par des sacs ronds en caoutchouc, et formaient ainsi autant de soufflets ayant un fond métallique dont les déplacements commandaient ceux des sabots. Telle est la disposition représentée sur la figure 82, dans la-

quelle A forme la paroi extérieure en caoutchouc du cylindre, C le fond fixe relié au châssis du wagon dans lequel débouche la con-

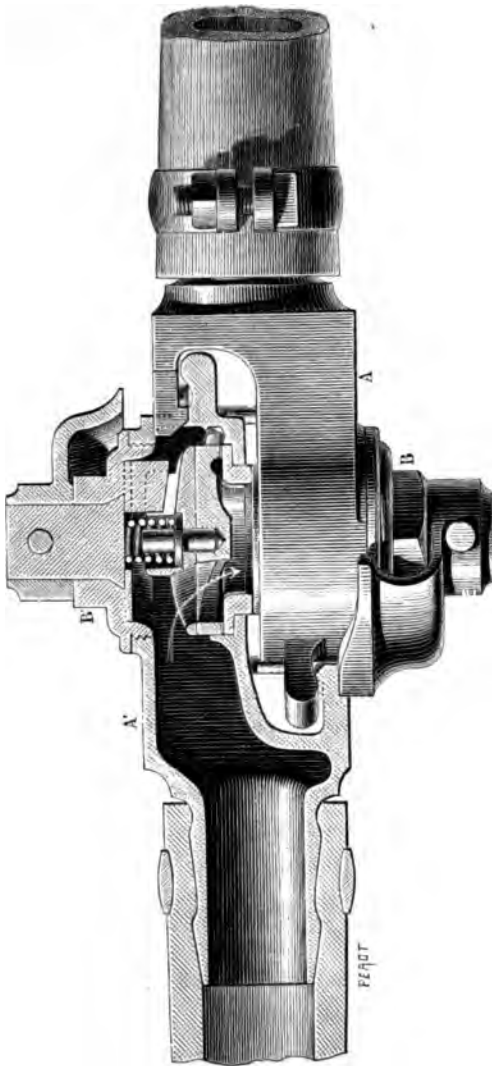


Fig. 81. — Accouplement des tuyaux en caoutchouc servant de raccords pour la conduite générale.

duite F, et D le fond mobile. Quand on fait le vide dans la conduite, le soufflet s'aplatit, et le fond D entraîne les sabots K par

ire des leviers P, H, I. Dès que l'air est admis au ans le soufflet, le fond mobile est repoussé, et les sa- nent leur position initiale.

'out , les soufflets se détériorent assez rapidement car la caoutchouc n'est pas protégée, et on les remplace au- ar une disposition imaginée autrefois par M. Du et reprise plus tard avec succès par M. Hardy. Le nou- u ndre à freins est une capsule en fonte partagée en deux mpartiments isolés par une cloison flexible en cuir ou en caoutchouc raidie par une lle métallique fixée au milieu.

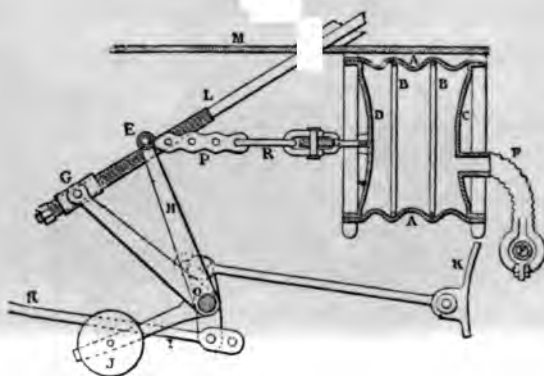


Fig. 82. — Première disposition du cylindre à freins et des leviers de commande dans le frein à vide de M. Smith.

L'un des deux compartiments est relié à la conduite et entièrement isolé de l'air ; lorsqu'on y fait le vide, le diaphragme vient s'appliquer contre le fond de la capsule en entraînant, comme précédemment, les leviers des sabots de freins K qui sont reliés à la rondelle métallique.

L'appareil qui sert à produire le vide est particulièrement remarquable par sa simplicité, car en dehors des soupapes il ne renferme aucun organe mobile, c'est un *éjecteur* dans lequel l'air est aspiré par une sorte d'entraînement moléculaire déterminé par un courant de vapeur débouchant dans l'atmosphère à l'orifice de la conduite. La figure 83 représente la disposition adoptée : la va-

peur pénètre par le tuyau latéral A, elle se répand dans l'intérieur de la bouteille autour du tube central F, et s'échappe dans l'atmosphère en passant dans l'espace annulaire compris entre les parois du tube F et celles de l'éjecteur. Elle détermine ainsi l'entraînement de l'air contenu dans ce tuyau, la pression y diminue peu à peu, et la soupape S est soulevée sous l'action de la pression atmosphérique s'exerçant en B. L'air ainsi aspiré est entraîné avec le courant de vapeur, et la dépression se propage peu à peu dans toute la longueur de la conduite.

On ferme alors la prise de vapeur, la soupape retombe sur son siège, le vide se maintient ainsi dans la conduite, et par suite dans les cylindres à freins formés par des capsules en fonte ou des sacs en caoutchouc, et les freins restent serrés, comme nous le disions plus haut, jusqu'à ce que l'air soit réintroduit.

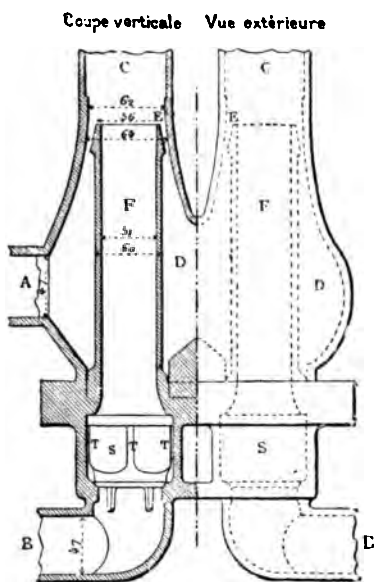


Fig. 83. — Disposition d'un éjecteur double dans le frein à vide de M. Smith. (Coupe verticale et vue extérieure.)

L'appareil représenté sur la figure 83 est formé de deux pareils éjecteurs venus de fonte ensemble, l'un d'eux est relié avec une conduite spéciale régnant seulement sous le tender et la machine, et l'autre avec la conduite générale du train. Cette disposition, qui était adoptée dans les premiers essais dont le frein à vide a été l'objet au chemin de fer du Nord, n'a pas été entièrement conservée depuis, on n'emploie plus guère aujourd'hui qu'un seul éjecteur commandant à la fois deux conduites séparées, ou une conduite unique agissant à la fois sur la machine et le train.

Un manomètre est fixé sur l'écran de la machine, et il permet

au mécanicien de juger de l'intensité du serrage d'après le degré de vide obtenu. Sur le même raccord, est disposée une valve à main qu'il suffit de soulever pour admettre l'air dans la conduite.

D'après ce que nous venons de dire, on voit que pour arrêter son train, le mécanicien n'a qu'à ouvrir l'admission de vapeur dans l'éjecteur; il la ferme ensuite dès que le vide a atteint un degré suffisant, et il peut ainsi d'ailleurs, avec un peu d'habitude, même pour la descente d'une longue pente, par exemple, en se guidant d'après les indications du vacuomètre, arriver à graduer assez bien l'intensité du serrage d'après la rapidité de l'arrêt qu'il veut obtenir.

Cette simple manœuvre d'un robinet qui met immédiatement en jeu tous les freins dont le train dispose, peut même être obtenue d'une manière automatique, pour ainsi dire, et indépendante du mécanicien. Cette disposition si intéressante et ingénieuse, qui est due à MM. Delebecque et Banderali, est la garantie la plus précieuse qu'on puisse trouver pour assurer la sécurité, puisque elle prévient ainsi toute erreur d'un mécanicien qui n'aurait pas pu distinguer, par exemple, les signaux d'arrêt, ou aurait négligé de s'y conformer.

MM. Delebecque et Banderali utilisent à cet effet les contacts fixes, reliés aux disques d'arrêt sur le chemin de fer du Nord, et qui sont destinés à mettre en jeu les sifflets électriques automoteurs de MM. Lartigue et Forest, dont nous avons parlé plus haut (page 164). Le courant qui est amené jusqu'à la boîte du sifflet, lorsque la machine vient à passer devant un disque à l'arrêt, déclanche en même temps le levier d'admission de vapeur dans l'éjecteur. La disposition adoptée est représentée sur la figure 84; on voit que la tige OG mobile autour du point O, qui maintient soulevé ce levier d'admission dont on voit la coupe en F, est reliée au levier E du sifflet. Lorsque la machine arrive au-dessus du contact fermé, l'électro-aimant HB du sifflet relâche son armature V sous l'action du courant transmis, ce levier est attiré alors vers la droite, et le sifflet se fait entendre comme nous l'avons déjà dit; en même temps la tige OG est entraînée avec E : le levier F



tombe alors dans l'encoche FI, et ouvre ainsi la prise de vapeur qui reste dégagée jusqu'à ce que le mécanicien relève le levier et le replace sur l'encoche de la tige OG.

Cette disposition peut être utilisée également pour permettre aux conducteurs placés dans les fourgons, d'arrêter en cas de besoin le train en marche, en ayant recours cette fois aux communications électriques, système Prudhomme, dont tous les trains du chemin de fer du Nord sont munis, pourvu que le sifflet

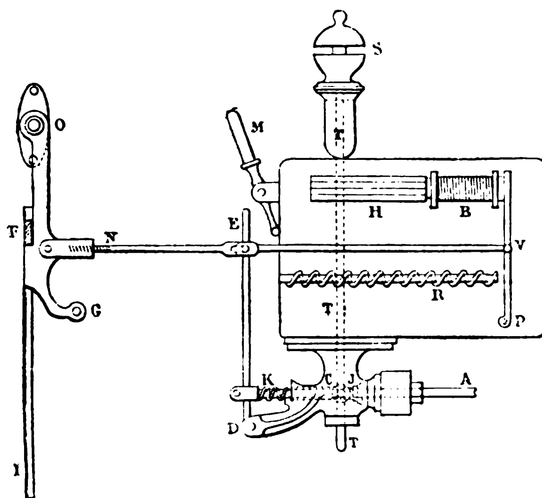


Fig. 84. — Déclanchement automatique du frein à vide sous l'action du sifflet électro-automoteur.

(Disposition de MM. Delebecque et Banderali.)

électro-moteur de la machine soit relié également au circuit du train. Il suffit alors au conducteur de manœuvrer la manette du commutateur de son fourgon pour produire un courant électrique capable d'actionner le sifflet, et même de déterminer par là le serrage des freins.

Le frein électrique. — Nous terminerons ce qui est relatif aux freins continus en parlant d'une solution qui n'a pas eu le même retentissement que l'emploi de l'air raréfié ou comprimé, mais qui pourra peut-être dans l'avenir le supplanter définitivement,

nous voulons parler de l'emploi de l'électricité. Ce fluide, dont la transmission est réellement instantanée, possède la propriété la plus précieuse qu'on recherche dans les freins continus, puisqu'il supprime tout temps perdu entre le moment où le frein peut agir, et celui où le mécanicien donne l'impulsion initiale. Les seules difficultés qu'on ait rencontrées jusqu'à présent tiennent plutôt au poids considérable des organes, surtout à leur action un peu brusque qu'on ne peut guère régler, et aux irrégularités qu'on observait à l'origine dans la transmission des courants. Il paraît en outre que la force attractive des électro-aimants employés est influencée dans certains cas par la vitesse de marche du train.

Enfin, il faut ajouter qu'on n'a pas encore pu réussir à produire d'une manière commode la force motrice nécessaire. On a eu recours dans les premiers essais aux piles électriques, combinées plus tard avec les accumulateurs de M. Planté, de manière à obtenir au moment de la décharge un courant d'une plus grande intensité; on essaie actuellement une machine Gramme, au chemin de fer de l'Est, où le frein électrique disposé par M. Achard reste toujours l'objet d'études nombreuses et suivies; mais cette machine exige alors un moteur spécial empruntant la vapeur de la chaudière de la locomotive, ce qui n'est pas sans entraîner de nombreuses complications. C'est là la difficulté la plus sérieuse qu'on rencontre actuellement dans l'application des freins électriques; car il y a lieu d'espérer qu'à la suite des études et des perfectionnements si nombreux dont les appareils fondés sur l'électricité sont actuellement l'objet, on pourra réussir d'ailleurs à lui assurer les qualités qui lui manquent encore, en lui donnant plus de douceur, en supprimant toutes les irrégularités d'action qui tiennent presque toujours à des contacts mal établis, ou aux notions incomplètes qu'on avait à l'origine sur les différentes sortes de courants. Et enfin, peut-être aussi pourra-t-on le rendre automatique de manière à ce qu'il entre en jeu aussitôt qu'il se produit une rupture d'attelages ou une avarie quelconque.

Quoi qu'il en soit, nous allons donner la description du frein



électrique, tel qu'il est disposé actuellement par M. Achard, et essayé sur le chemin de fer de l'Est.

Les courants sont produits au moyen de deux piles Planté, chargées chacune par trois piles Daniel renfermées dans les fourgons (fig. 86), ou à l'aide d'une machine Gramme, comme nous le disions plus haut, et ils sont transmis par deux fils parallèles L régnant sur toute la longueur du train, et amenés ainsi jusqu'aux appareils à freins de chaque voiture.

Ceux-ci se composent d'électro-aimants A (fig. 85 et 86), de forme tubulaire, montés en dérivation, qui entrent en action dès qu'on ferme le circuit.

Chaque électro-aimant forme une sorte de pendule suspendu devant un manchon en fer B, placé sur l'un des essieux de la voiture, et il se trouve fortement attiré par celui-ci aussitôt qu'il est aimanté sous l'action du courant. En arrivant au contact, ce pendule qui est muni de frettes de friction, participe dès lors, par adhérence magnétique, au mouvement de rotation de celui-ci, les chaînes dont il est muni s'enroulent autour de l'arbre A, et agissent sur les grands leviers CC qui se soulèvent et appliquent les sabots D contre les jantes des roues.

Pour desserrer les freins, il suffit d'interrompre le courant, l'électro-aimant abandonne alors l'essieu, les chaînes se distendent, et les sabots reviennent à leur position première.

Le contact en dérivation entre le fil de ligne et l'électro-aimant pendulaire est établi à l'aide de deux ressorts à lames, et on a interposé de même des ressorts spéciaux en fixant au châssis les chaînes des sabots afin d'amortir l'influence des vibrations.

On remarquera sur la figure que toutes les roues sont pressées par deux sabots à la fois, cette disposition qu'on ne doit jamais négliger dans l'installation des freins a pour but d'éviter toute poussée latérale sur les coussinets des essieux

---

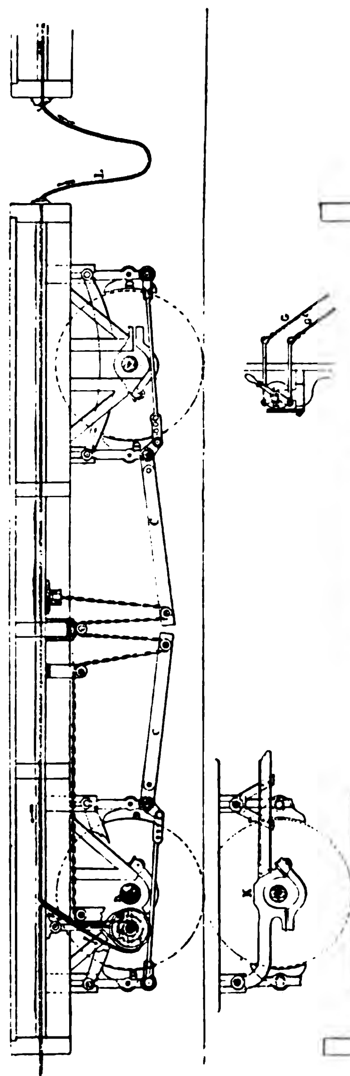


Fig. 85. — Vue extérieure du châssis d'une voiture munie du frein électrique.

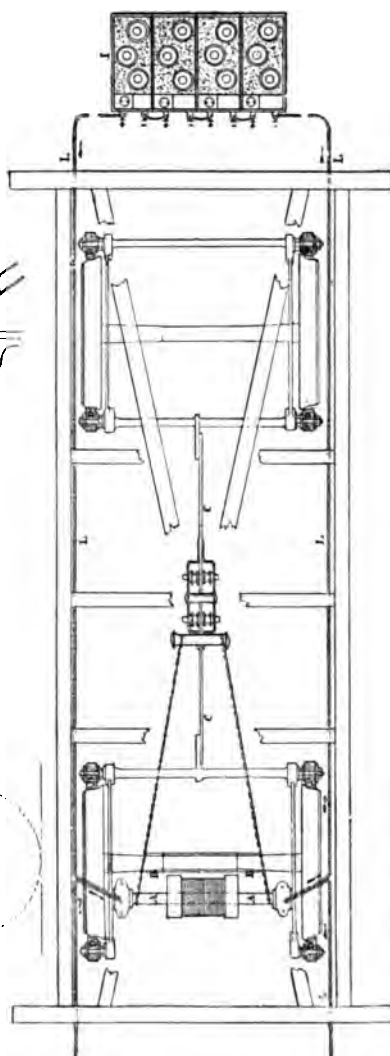


Fig. 86. — Plan du châssis d'une voiture munie du frein électrique.

CINQUIÈME PARTIE

LES CHEMINS DE FER DANS LES MONTAGNES.

CHAPITRE PREMIER

LES CHEMINS DE FER FUNICULAIRES.

Modes de traction spéciaux pour les fortes rampes. — Nous avons insisté dans les premières parties de cet ouvrage sur les conditions d'établissement des voies ferrées ordinaires à simple adhérence, nous avons décrit les travaux d'art si curieux qu'elles ont exigés, et qui sont une des merveilles de notre époque ; et on a pu juger par les sacrifices que les Compagnies se sont imposés pour obtenir des lignes constamment horizontales avec des pentes aussi réduites que possible, combien cette condition est essentielle pour l'exploitation d'un chemin de fer. C'est que, en effet, la locomotive, cette machine merveilleuse si bien appropriée pour la traction en palier, ne produit plus guère aucun effet utile sur des rampes un peu considérables. L'effort total nécessaire pour entraîner une charge d'une tonne sur une voie ferrée en palier ne dépasse guère [?] à 8 kilog., mais il s'accroît d'un kilog. par millimètre de pente, et se trouve ainsi doublé sur une pente de [?] à 10 millimètres. Aussi on ne va guère au delà de 2[?] à 30 millimètres, même sur les lignes secondaires, et on cite celles qui dépassent 3[?] millimètres, seulement avec des lignes à fortes rampes.

Celles-ci présentent généralement un intérêt tout particulier en raison de leur situation spéciale dans les pays montagneux, elles

bondent en points de vue tout à fait pittoresques et en ouvrages remarquables, comme les tunnels, les ponts ou les viaducs fallu construire pour franchir les torrents, ou passer d'une ıee dans une autre. On les a multipliées beaucoup ces dernières ınées, et on n'hésite plus à lancer des locomotives sur le flanc grandes montagnes pour franchir, dans des conditions peu a' uses, il est vrai, des rampes qui autrefois auraient été ré-] s ınaccessibles. Les difficultés qu'il a fallu vaincre forment un attrait de plus pour les touristes qui ne manquent pas de profiter de ces voies ferrées pour faire l'ascension des pays élevés, et jouir ainsi sans fatigue de l'aspect de contrées souvent curieuses.

Il nous serait impossible d'énumérer ici toutes les lignes à fortes rampes, et nous devrons nous borner à citer les plus intéressantes d'entre elles.

En France, on rencontre déjà de nombreux exemples de à 20 millimètres par mètre ; telles sont, par exemple, de Moulins à Montluçon, de Forbach à Niederbronn, eı :e, Mézières à Hirson, Lyon à Grenoble, Montauban à Rodez, Mouchard à Pontarlier, etc... Nous pourrions citer aussi la ligne de Naples à Foggia, celle de Christiania à Trondhjem, qui traverse les Alpes Scandinaves à 688 mètres de hauteur, celle de Lausanne à Berne, la ligne d'Irun à Madrid qui s'élève parfois à une hauteur supérieure, à 1,300 mètres, tout en ne dépassant pas une pente de 15 millimètres.

La rampe de Geisslingen à Ulm dans le Wurtemberg présente une pente de 22 millimètres sur une longueur de près de 6 kilomètres.

La rampe célèbre de Cowlais sur la ligne d'Edimbourg à Glasgow a également 22 millimètres, il en est de même de celle du Tabor (ligne de Valparaiso à Santiago, Chili) qui s'étend sur une longueur de 10 kilomètres avec des courbes de 180 mètres de rayon. On rencontre aussi des rampes analogues sur la grande ligne du Pacifique, pour la traversée des Montagnes Rocheuses qui s'opère à l'altitude de 2,513 mètres, et celle de la Sierra Nevada, à l'altitude de 2,100 mètres.

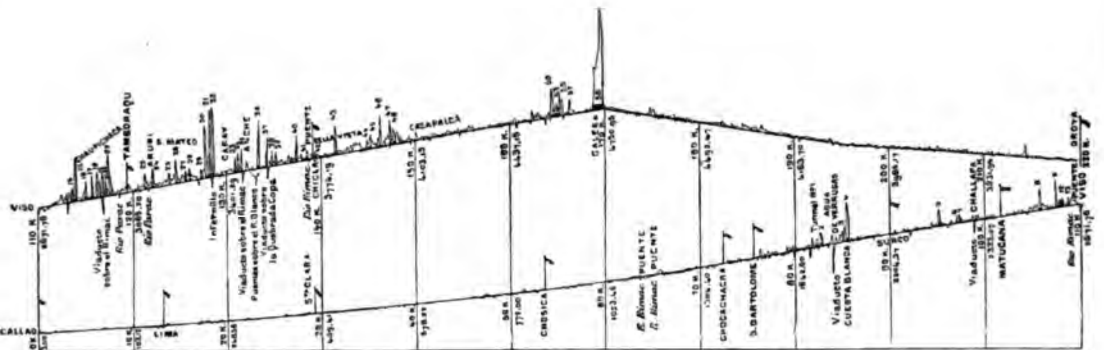


Fig. 87. — Chemin de fer des Andes. Profil en long.



Fig. 88. — Tracé de la voie.





Les rampes de 25 millimètres se rencontrent sur plusieurs lignes importantes, pour la traversée des grandes chaînes de montagnes. Telles sont, par exemple, la ligne d'Alais à Brioude, qui franchit les Cévennes, celle de Neuenmarkt à Markschorgast, qui franchit le Fichtel Gebirge en passant du bassin du Main dans celui de la Saare. Citons enfin les trois traversées si célèbres du Brenner, de Bobrano à Innsbrück, celle du Semring sur la ligne de Vienne à Trieste, entre Gloggnitz et Murzzuschlag, et surtout la magnifique rampe de Bologne à Pistoia pour la traversée des Apennins. Ce chiffre de 25 millimètres a été dépassé d'ailleurs même en Europe, pour la traversée du mont Cenis par exemple (fig. 22 et 23). La ligne de Turin à Gênes présente 35 millimètres sur la rampe de Giovi, et on compte jusqu'à 46 millimètres sur la ligne d'Enghien à Montmorency. On rencontre des rampes de $0^m,05$ et $0^m,08$ sur certaines lignes péruviennes, ainsi qu'aux États-Unis, pour la traversée des Alléghanys, sur le chemin de fer central de Richmond à l'Ohio.

La ligne de Callao à Oroya qui traverse les Cordillères des Andes présente une pente de 30 à 50 millimètres sur une longueur de plus de 200 kilomètres. Cette ligne si curieuse, aujourd'hui entièrement achevée, s'élève jusqu'à une hauteur de 4,751 mètres audessus du niveau de la mer, inférieure ainsi de 60 mètres seulement à celle du Mont-Blanc, la plus haute de nos montagnes d'Europe. Cette voie sur laquelle nous donnons quelques détails en raison de l'intérêt tout particulier qu'elle présente, fut entreprise dans des conditions de difficultés tout à fait exceptionnelles, puisque le nivellement lui-même présenta souvent des obstacles presque insurmontables. La ligne suit le Rimac sur une longueur de 150 kilomètres environ (fig. 87 et 88). Les bords de cette rivière sont formés par des rochers abrupts et à peu près inaccessibles; dans la plupart des cas, on ne put prendre aucune mesure directe sur le terrain, il fallut lever le plan de la vallée du Rimac au moyen d'une triangulation dans laquelle les pics des rochers pouvaient seuls fournir des points de repères, souvent très défectueux. Quelquefois même, il fut impossible d'arriver au sommet de ces

triangles en suivant un sentier ou même au moyen d'une échelle; il fallait lancer des cordes qu'on accrochait au rocher, et les ingénieurs passaient au-dessus des précipices en se suspendant à ce fil aérien.

Néanmoins, malgré toutes ces difficultés, la triangulation donna encore des résultats satisfaisants, et dans les 61 tunnels qu'on fut obligé de construire, et dont plusieurs furent attaqués à la fois par les deux extrémités, ou par des points intermédiaires, on n'observa jamais d'erreurs de direction supérieures à quelques pouces.

La plaine qui prolonge le versant occidental des Andes est tout à fait stérile, et ne put fournir aucune ressource pour la construction de la voie, il fallut apporter à dos de mulets ou de *llamas* tous les outils et les matériaux nécessaires. Les bois de construction furent amenés de l'Orégon et de la Californie, le fer et le charbon vinrent d'Angleterre. Les instruments de précision pour le nivellement : théodolites, niveaux d'eau, boussoles, chaînes, etc., furent fabriqués pour la plupart en Angleterre ou en France.

Les premiers ponts en fer furent construits de toutes pièces en Europe, et montés sur les lieux par des ouvriers anglais ou français.

La ligne atteint son point culminant à une distance de 170 kilomètres de Callao à une hauteur de 4,750 mètres, la pente moyenne est donc de 27 millimètres, le rayon minimum des courbes est limité à 127 mètres.

La rampe commence seulement à San-Bartolomme à une distance de 75 kilomètres de Callao; à partir de ce point, la voie pénètre réellement dans la montagne, les tunnels commencent, les rochers s'accumulent, et les précipices se creusent de plus en plus. Le train gravit lentement, tantôt tiré dans un sens, tantôt dans l'autre. Entre Matucana et Tamboraque, la pente de la vallée est tellement rapide que la voie y présente deux culs-de-sac successifs; ailleurs, on la rencontre en cinq niveaux différents superposés à des hauteurs à donner le vertige. Elle traverse les





Fig. 89. — Ligne de Callao à Oroya, vallée du Parac entre les tunnels 22 et 23.



Fig. 90. — Ligne de Callao à Oroya, vue du Rio Blanco.

torrents et les précipices sur des ponts à claire voie qui sont comme de minces rubans de fer jetés sur l'abîme ; elle s'avance parfois



Fig. 91. — Entrée d'un tunnel sur la ligne de Callao à Oroya.

dans des grottes obscures entre des pics tellement rapprochés qu'ils arrêtent la lumière du jour, et au delà de San-Mateo, elle arrive

en un point que les habitants ont nommé *el puente del Infiernillo* (fig. 92) pour exprimer tout ce que le paysage a de grandeur sauvage.

En dehors de cette voie si curieuse il y a peu d'exemples de rampes supérieures à 50 millimètres. Nous en pouvons citer une cependant qui atteint 100 millimètres, mais qui constitue un tour de force audacieux, sans doute unique au monde pour un service normal, il est fourni par la ligne de Baturite au Pérou, qui présente une pente de 100 millimètres par mètre, pour laquelle l'effort de traction dépasse donc le dixième du poids remorqué. Dans des conditions pareilles, comme l'adhérence qui limite de son côté l'effort de traction que la machine est susceptible de fournir, ne peut guère dépasser dans les circonstances ordinaires le septième du poids de celle-ci, on comprend immédiatement que la machine ne peut pas remorquer un poids supérieur au sien, et encore son effort reste-t-il subordonné à toutes les actions atmosphériques qui peuvent se produire. Parfois, en temps de brouillard par exemple, celles-ci diminuent très considérablement la valeur de l'adhérence, et il suffit en effet que les rails soient un peu gras pour que la machine soit condamnée à patiner sur place sans avancer.

La rampe de Fortaleza que nous avons représentée sur la figure 93, est un embranchement détaché de la ligne de Fortaleza à Baturite dans la province de Ceara au Brésil. Elle est à voie étroite d'un mètre de largeur, comme la plupart des lignes brésiliennes, elle part du port d'Alfandega sur l'océan Atlantique, pour monter jusqu'à la ville de Fortaleza, à une distance de 2 kilomètres environ.

La machine motrice a été construite dans les ateliers de la maison Baldwin, l'un des plus importants constructeurs des États-Unis qui a créé un type de locomotives devenu classique dans ce pays ; elle présente un poids adhérent de 20,000 kilogr., et elle peut remorquer un train composé quelquefois d'une seule voiture de voyageurs, dont le poids ne soit pas supérieur à 17 ou 18,000 kilogr. avec une vitesse de 20 kilomètres à l'heure.

Plans inclinés. — En dehors des cas dont nous venons de parler et qui sont tout à fait exceptionnels, il est préférable d'avoir re-



Fig. 92. — Pont de l'Enfer entre les tunnels 31 et 32, sur la ligne de Callao à Oraya.

cours à la traction par plan incliné avec un câble et une machine fixe à treuil, dès que la rampe atteint ou dépasse 0,06 à 0,07, plu-

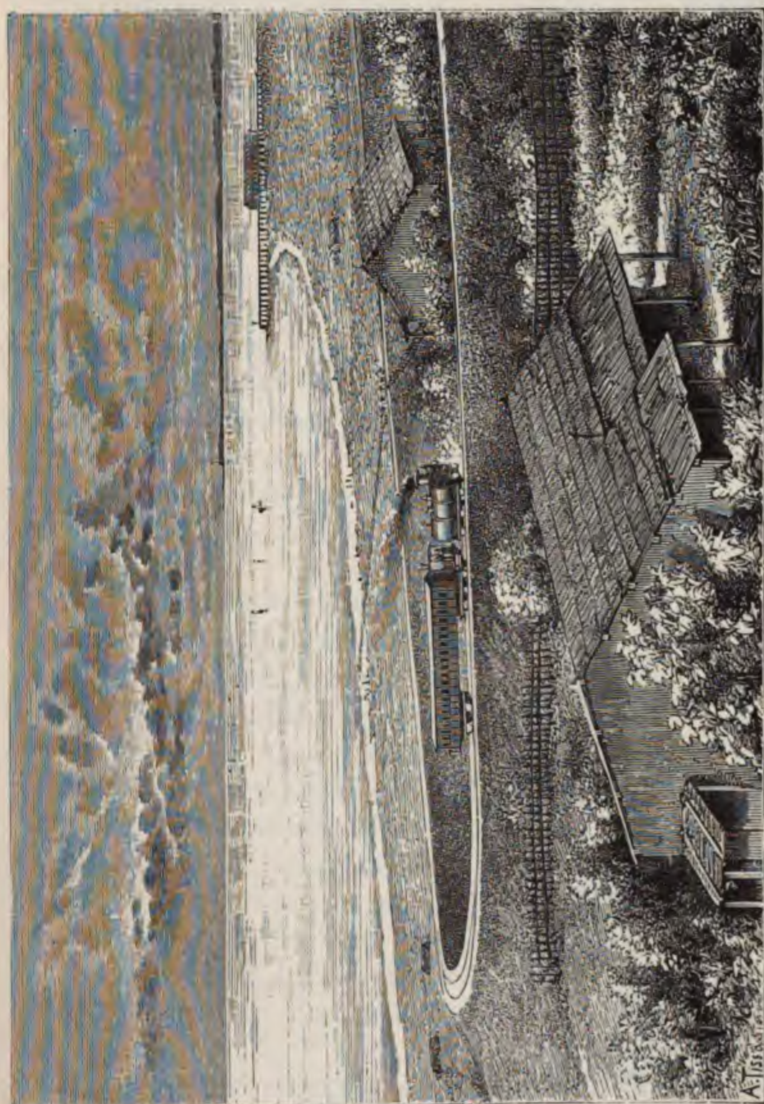


Fig. 93. — Vue de la rampe de Fortaleza (chemin de fer de Baturite, au Pérou).

tôt que de persister à employer la locomotive qui produit alors si peu d'effet utile. Avec ce nouveau mode de traction, la rampe devient presque illimitée pour ainsi dire, le tracé reste seulement soumis à certaines exigences, car il doit toujours se développer presque en ligne droite, et la longueur doit rester très réduite pour ne pas entraîner des pertes de force excessives par frottement.

Parmi les plans inclinés les plus longs, nous citerons, par exemple, ceux du chemin de fer de Santos à Santo-Paolo (Brésil), qui franchissent, au nombre de quatre, l'escarpement de la Sierra-da-Mar avec des longueurs respectives de 1,948, 1,080, 2,697 et 2,140 mètres, et une inclinaison de 1/9 ou d'un angle de 5°,43. La pente maxima franchissable par voitures ordinaires est de 7°,30.

On rencontre d'ailleurs des inclinaisons beaucoup plus considérables, le chemin de Lyon à la Croix-Rousse a 10°,22 de pente; celui du Righi a 14°; celui du Giessbach a 15°,39. (Ces deux dernières lignes sont exploitées par crémaillère, comme nous le dirons plus loin.) La pente maxima qu'on ait donnée à un plan incliné est celle du chemin du Vésuve qui présente 32°,13'.

Plan de la Croix-Rousse. — Ce plan dont on voit une vue fig. 96, qui va de la place des Terreaux à la Croix-Rousse, à Lyon, a 489^{m},20 de longueur et 0,1605 d'inclinaison. Il est à deux voies, et exploité à l'aide d'un câble à deux bouts moteurs. Celui-ci est enroulé sur un tambour, installé au sommet, que la machine motrice fait tourner alternativement dans les deux sens; car chacune des deux voies sert tour à tour à la montée et à la descente.

Le tambour moteur a 4^{m},50 de diamètre, et le câble est guidé au moment de l'enroulement par un chariot spécial pour empêcher les hélices de chevaucher les unes sur les autres. La force de la machine motrice est de 120 chevaux environ, et la vitesse moyenne de marche de 2 mètres à la seconde.

Les voitures employées sont de différents types; les voitures

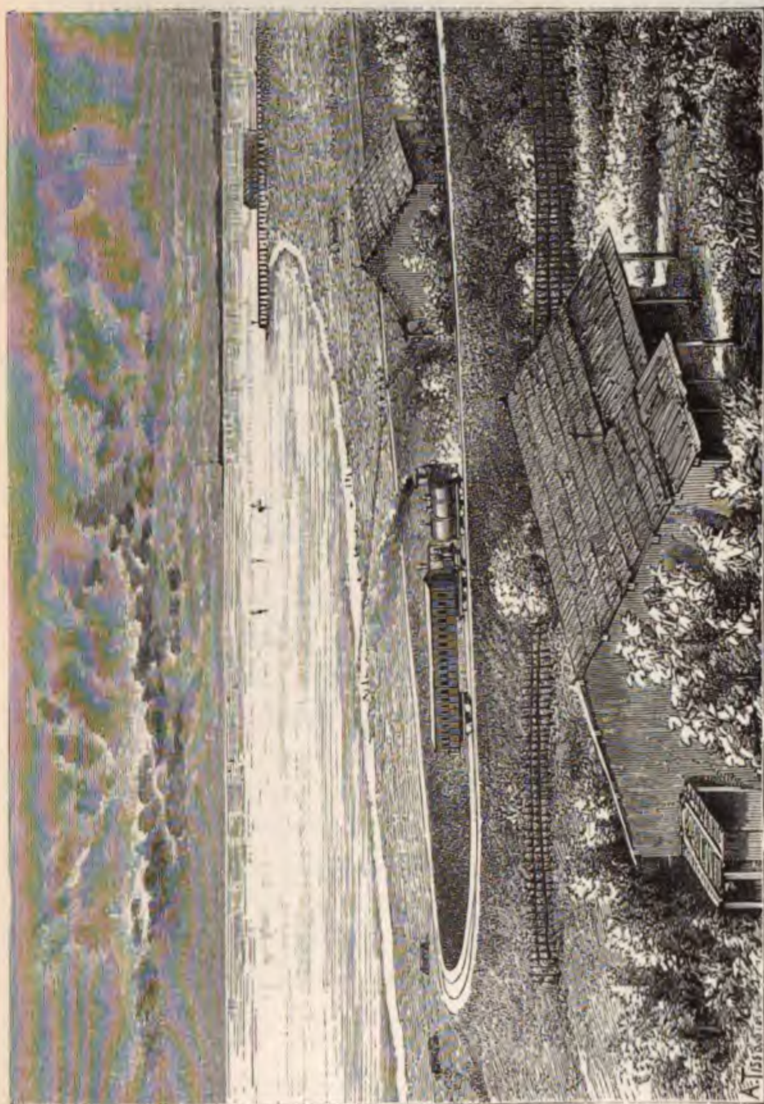


Fig. 93. — Vue de la rampe de Fortaleza (chemin de fer de Baturite, au Pérou).

mixtes de semaine peuvent contenir 92 voyageurs, et pèsent vides 8,000 kilogr. environ.

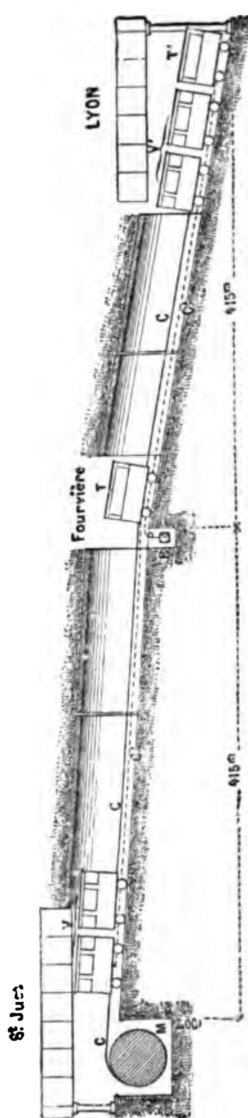


Fig. 94. — Vue longitudinale du plan incliné de Fourvières de Lyon à Saint-Just.

L'intérêt principal de l'installation adoptée à la Croix-Rousse réside dans les freins spéciaux qu'il a fallu disposer pour prévenir tout accident sur une pente aussi rapide. Ce sont des freins agissant d'une part sur les roues pour les caler, et d'autre part sur les rails mêmes, pour y donner au wagon le point d'appui qui lui est nécessaire afin de le maintenir suspendu dans l'espace. Ils peuvent être actionnés à la main; mais ils entreraient d'eux-mêmes en jeu d'une manière automatique si le câble venait à se rompre, et ils fournissent ainsi toute la sécurité désirable.

Plan incliné de Fourvières. — Ce plan, fig. 94, qui fut livré à l'exploitation le 8 août 1878, est construit dans les mêmes conditions que celui de la Croix-Rousse, il part à Lyon du bord de la Saône pour s'élever jusqu'à Saint-Just avec une station à Fourvières. La distance de Lyon à Fourvières est de 415 mètres avec une rampe de 0,183, et celle de Fourvières à Saint-Just est exactement égale; mais la rampe est plus faible, car elle est de 0,061 seulement.

Un train descendant contribue toujours à soulever un train montant; toutefois on a dû recourir à une disposition spéciale pour régulariser l'effort moteur, en raison de la différence d'inclinaison si considérable que présentent ces

deux pentes. On a disposé deux chariots trucks formant contrepoids qui circulent tour à tour sur la rampe la plus forte, et fournissent ainsi constamment le surcroît d'effort nécessaire pour soulever le train montant quand il doit franchir la rampe la plus forte, ils donnent en outre assez de résistance pour ralentir le train descendant quand il y arrive.

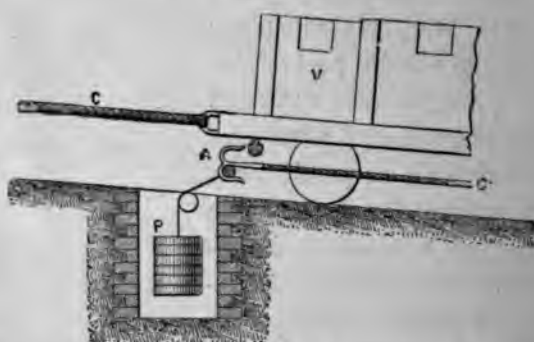


Fig. 95. — Plan incliné de Fourvières, déclanchement automatique destiné à régulariser l'effort moteur à la descente et à la montée sur les deux pentes différentes.

Lorsque le train V descend la rampe de 0,060 de Saint-Just à Fourvières, il agit sur le grand cable C, et en même temps il est relié par le grand cable C' au truck T qui descend de Fourvières à Lyon, et contribue ainsi à soulever le train montant V'. Les deux trains se croisent à Fourvières, puisque les parcours sont exactement égaux, et alors un déclanchement automatique (fig. 95) sépare le train V du cable C', et c'est le train V' qui emmène par l'intermédiaire de ce cable le truck T', celui-ci en montant fournit alors la résistance nécessaire pour ralentir le train V. Lorsque ce dernier est arrivé au bas de la rampe, le train V' est en haut, le truck T' à Fourvières, T à Lyon, et les choses se retrouvent ainsi dans le même état que tout à l'heure.

Chemin de fer du Vésuve. — Ce plan incliné, qui est représenté fig. 98, est un des plus curieux qu'on puisse signaler, car il est établi avec la plus forte inclinaison qu'on ait donnée jusqu'à présent à de pareilles voies; en outre, l'installation a entraîné des



Fig. 96. — Plan incliné de la Croix-Rousse.

difficultés considérables en raison de la nature du sol formé de poussières et de scories volcaniques.

Le chemin du Vésuve gravit la montagne du côté occidental et il arrive en ligne droite presque à la naissance du cône supérieur, à la cote de 1,180 mètres, soit 70 mètres plus bas que le sommet du volcan. La pente de la voie varie de 43 à 60 millimètres, et le développement total est de 800 mètres environ.

Le chemin est à double voie, comme à la Croix-Rousse, et un train descendant correspond toujours à un train montant qu'il contribue à élever par son propre poids. La traction est opérée, dans des conditions analogues, à l'aide de deux cables sans fin, enroulés au bas du plan sur deux tambours commandés par les machines fixes.

La voie est constituée par une longrine longitudinale, supportant un rail unique, suivant la disposition adoptée pour la première fois par M. Larmanjat. La voie d'aller et la voie de retour forment un ensemble de deux longrines parallèles en chêne, écartées de deux mètres environ, et fortement entretoisées de mètre en mètre par de grosses traverses de cinq mètres de longueur (fig. 97). On a obtenu ainsi une ossature solide en charpente qui a pu être amarrée sur la lave partout où on la rencontrait.

La longrine est relevée au-dessus de la voie, comme on le voit sur la figure 97, et les wagons en marche sont guidés par le rail central, et maintenus de chaque côté par deux galets inclinés sur l'horizon, qui roulent au contact des deux guides latéraux, fixés sur la longrine.

Le wagon (fig. 99), comprend deux compartiments pouvant contenir chacun 4 à 6 personnes, et dont le plancher est maintenu horizontal, bien que les longerons de la voiture soient parallèles à la voie, ce qui entraîne entre les seuils des deux portières une différence de niveau de $0^m,90$.

Les mâchoires du frein qu'on voit fig. 97 sont formées par des griffes en acier qui peuvent venir pénétrer dans le bois de la longrine et amarrer solidement le wagon. Celles-ci sont commandées par des vis à manivelle manœuvrées par le conducteur de la

voiture sur son siège. Cette disposition, imitée des parachutes employés dans les mines, est très efficace, mais il paraît regrettable qu'on ne l'ait pas rendue entièrement automatique de manière à ce que les mâchoires viennent d'elles-mêmes serrer les longrines aussitôt que les câbles viendraient à se rompre, ou même à se relâcher.

L'effort moteur est fourni par deux machines installées au bas du plan, et donnant une force totale de 45 chevaux environ;

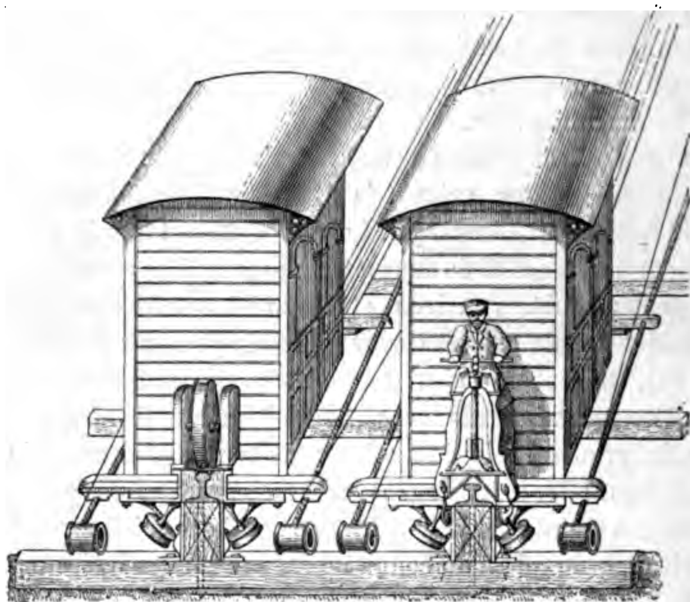


Fig. 97. — Vue de la voie du plan du Vésuve, et vue de tête des wagons.

elles mettent en mouvement deux tambours indépendants sur lesquels sont enroulés les câbles. Ceux-ci s'élèvent ensuite jusqu'au sommet du plan, et se replient là sur deux poulies fixées solidement à un mur construit dans la lave, puis ils descendent le plan, et retournent enfin jusqu'aux tambours inférieurs. Les deux brins montants parallèles sont attelés sur l'un des wagons, et les brins descendants sur l'autre.

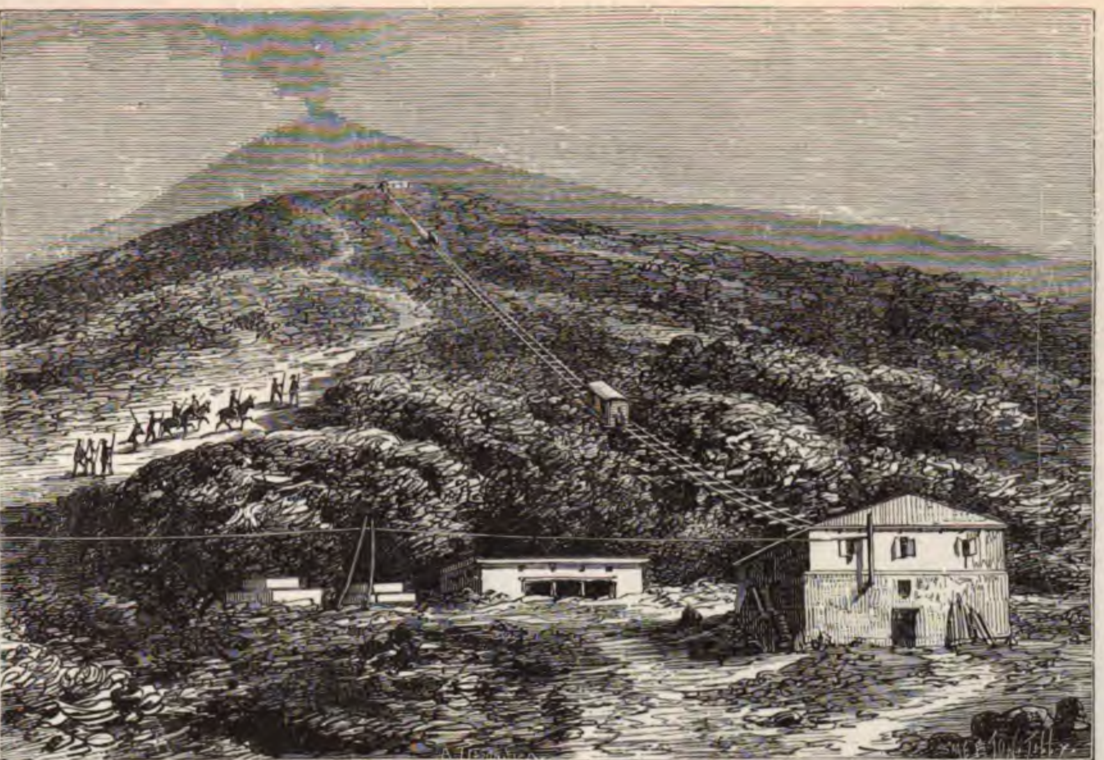


Fig. 93. — Vue du plan incliné montant au Vésuve.

Chacun des câbles de traction est en acier, muni d'une âme en chanvre, il peut supporter sans rupture une charge de 25,000 kilog., cinq fois supérieure à l'effort nécessaire pour entraîner le wagon, ce qui représente pour les deux câbles réunis une force totale dix fois suffisante.

Les travaux du chemin de fer du Vésuve, commencés au mois d'août 1879, furent terminés dans les premiers jours de juin 1880,



Fig. 99. — Vue longitudinale du wagon du plan incliné du Vésuve.

et la ligne a pu être livrée à l'exploitation à partir de cette époque.

Locomotive Handyside. — M. Handyside est l'auteur d'une disposition assez ingénieuse, décrite dans le numéro de *la Nature* du 4 juin 1881, et qui consiste à employer dans la traversée d'un plan incliné, la locomotive comme une machine fixe, en la munissant d'un treuil et d'un câble pour remorquer un train, lorsque la rampe à gravir devient trop considérable. La locomotive ainsi installée (fig. 100) gravit seule la rampe qu'elle doit franchir : elle quitte son train en arrivant au bas de la montée, et s'élève alors en déroulant son câble; lorsqu'elle est arrivée à l'extrémité, elle

s'amarre solidement sur la voie au moyen de freins à mâchoires pressés directement par la vapeur qui saisissent les rails sur leurs surfaces latérales, puis le treuil entre en action, et le câble est enroulé en remorquant le train. Cette disposition un peu gênante sans doute pour l'exploitation, est une des plus économiques qu'on puisse adopter pour la traversée des rampes. Elle est appliquée en Angleterre, sur la rampe de Hopton dont la longueur est de 500 mètres environ, et la traversée occupe 7 à 8 minutes seulement.

A côté du système Handyside, on peut citer certains cas où on attelle une locomotive à un câble, pour lui faire remorquer un train montant sur une rampe pendant qu'elle descend la pente correspondante. Dans les premiers essais de voies ferrées sur la



Fig. 160. — Vue de la locomotive Handyside.

ligne de Saint-Étienne à Andrézieux, lorsque la locomotive n'avait pas encore atteint le degré de puissance qu'elle possède aujourd'hui, la machine employée n'était pas en état d'entraîner un train en restant en tête, sur la rampe de Neulize qui présentait une inclinaison de 0,05. On avait songé alors à ajouter à la force motrice de la locomotive, l'effort même de la gravité, en lui faisant descendre la rampe pendant que le train montait, et elle tirait alors celui-ci à l'aide d'un câble qui passait sur une poulie de renvoi fixée au sommet. Cette disposition fut bientôt supprimée, lorsqu'on eut des machines plus puissantes ; toutefois, on rencontre encore un exemple analogue sur la ligne de Dusseldorf à Elberfeld, sur une rampe de 0,033 ayant une longueur de 3,450 mètres. Les trains qui se croisent sur cette rampe sont rattachés par un câble de manière à ce que le train descendant soulève le

train montant et vienne en aide à la machine de celui-ci. Lorsqu'il n'y a pas de croisement, la locomotive de réserve est attelée au bout du brin descendant pour soulever le train montant.

Le système Agudio. — Tout en conservant la machine fixe et le câble des plans inclinés ordinaires, on peut avoir recours à une sorte de moyen terme, suivant une disposition très ingénieuse imaginée par M. Agudio, en interposant entre le câble de traction et le train un appareil spécial appelé *locomoteur* mobile avec le train, et qui remplit, dans une certaine mesure, un rôle analogue à celui de la locomotive ordinaire. Ce locomoteur sert en effet à régler le mouvement, et l'adhérence propre qu'il exerce sur les rails peut venir s'ajouter à l'effort moteur.

Dans ce procédé, le câble est enroulé sur les poulies du locomoteur au lieu d'être attaché à demeure (fig. 101 et 102), et sa vitesse de translation peut être amplifiée dans une proportion quelconque par rapport à celle du train. La force motrice devient alors l'effort tangentiel exercé par le câble sur la gorge des poulies du locomoteur, effort qui détermine la rotation de celles-ci et par suite celle des roues porteuses de l'appareil, solidaires avec elles. Le train se trouve entraîné avec le locomoteur, et le mouvement ainsi établi continue tant que l'effort à vaincre pour entraîner le train n'est pas supérieur à l'adhérence du câble sur la poulie.

Grâce à cette disposition, l'effort tangentiel dû au câble se trouve d'autant plus réduit par rapport à celui qu'un câble à traction directe devrait exercer que la vitesse est elle-même amplifiée davantage. On arrive donc ainsi à diminuer d'autant la section et par suite le poids du câble moteur, et il devient possible d'entraîner sur une forte rampe, un train tout entier, locomotive en tête, avec un câble qui, dans les conditions ordinaires, suffirait au plus pour quelques wagons seulement. Le système Agudio possède donc cette propriété précieuse d'être applicable sur une rampe quelconque parcourue par des trains à long parcours, et cela sans entraîner cependant aucune gêne pour l'exploitation ordinaire.

M. Agudio a pu faire deux fois déjà l'essai de la disposition dont il est l'auteur, et, tout en conservant le même système, il a su donner au locomoteur des formes diverses pour l'accommoder aux conditions particulières dans lesquelles il se trouvait placé :

A Dusino, sur la ligne de Turin à Gênes, il réussit d'une façon entièrement satisfaisante sur un plan incliné, long de $2^k,06$ et dont la pente atteignait seulement, il est vrai, $0^m,030$. Il avait installé deux machines motrices, l'une au sommet, l'autre au bas du plan incliné, et les deux brins du câble, l'un en amont, l'autre en aval, transmettaient tous deux un effort de traction. On avait pu dès lors diminuer encore de moitié la section de chacun des câbles, qui étaient animés déjà d'une vitesse de translation égale à deux fois et demie celle du train, et le diamètre se trouvait ainsi réduit au cinquième. Un câble dormant enroulé autour du tambour d'adhérence du locomoteur, lui fournissait en outre un point d'appui. M. Agudio put remorquer sur le plan de Dusino un train de cent vingt tonnes avec une vitesse de 16 kilomètres à l'heure, en employant deux locomotives commes machines fixes. En les attelant directement en tête du train, on n'aurait guère obtenu une vitesse supérieure à 9 kilomètres à l'heure.

M. Agudio entreprit en 1869, pendant qu'on creusait le tunnel du mont Cenis, une nouvelle expérience sur un plan incliné allant de Lans-le-Bourg au refuge n° 20, sur le versant français de la montagne. Comme ce plan présentait une pente moyenne de $0^m,24$, il fut obligé d'avoir recours à un rail central, pour obtenir une adhérence suffisante, et de munir en même temps le locomoteur de six galets horizontaux qui frottaient contre ce rail. La guerre de 1870 arrêta malheureusement les travaux, et cet appareil ne put fonctionner assez longtemps pour fournir une démonstration suffisante ; car le tunnel fut terminé peu de temps après.

Nous n'insisterons pas sur ces deux essais, et nous donnerons seulement la dernière disposition adoptée par l'auteur, et proposée par lui pour les lignes d'accès au tunnel du Saint-Gothard.



Le projet, tel qu'il est conçu actuellement, et pour une voie ordinaire, oblige à donner à ces lignes un développement considérable pour amener la voie jusqu'au niveau du tunnel tout en conservant des pentes de 3 à 4 centimètres au plus. M. Agudio propose d'établir, au contraire, des plans inclinés avec une pente de 5 à 10 centimètres sur lesquels les trains seraient remorqués, locomotive en tête au moyen de son appareil, et pourraient ensuite continuer au delà dans les conditions ordinaires sans interruption dans la marche. La vitesse sur ces plans serait sans doute considérablement réduite, mais, comme le parcours total serait plusieurs fois moindre, on arriverait encore plus rapidement à la même altitude.

Le locomoteur proposé par M. Agudio pour cette application est représenté dans les figures 101 et 102.

Le câble arrive dans l'axe de la voie au bas des deux poulies à gorge qu'on voit au milieu du locomoteur, il se relève ensuite, et fait un tour complet en embrassant la demi-circonférence extérieure de ces deux poulies, puis il retombe sur la voie et se poursuit jusqu'au bas du plan.

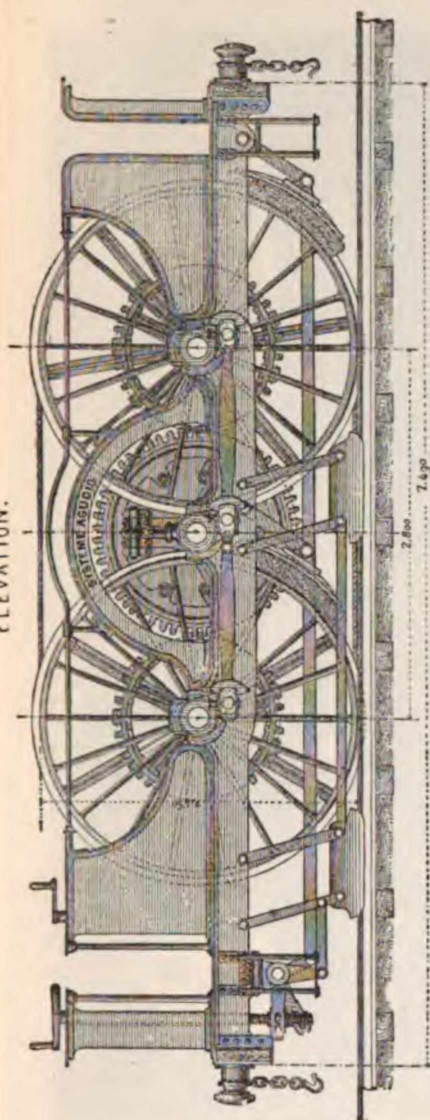
Lorsqu'il est tiré vers le haut, il communique aux poulies, comme on le voit, un mouvement en sens inverse de celui que prendraient les roues porteuses sous l'impulsion du câble. On a interposé un arbre intermédiaire entre les poulies et les roues afin de changer le sens de ce mouvement, de manière à ce que la rotation de ces dernières s'opère en effet dans la direction de l'effort moteur. Les poulies sont calées simplement sur deux manchons mobiles indépendants des essieux qui les supportent, et sur lesquels sont fixées quatre roues dentées engrenant deux à deux avec les deux pignons calés sur l'arbre intermédiaire, et celui-ci est relié aux roues porteuses par un double accouplement de bielles et de manivelles. L'adhérence des roues porteuses vient s'ajouter à l'effort moteur du câble pour empêcher le glissement du train, et cet effet utile sera d'autant plus marqué que le poids du locomoteur sera plus élevé. C'est ce qui a déterminé M. Agudio à ajouter sur le châssis quatre caisses pleines de

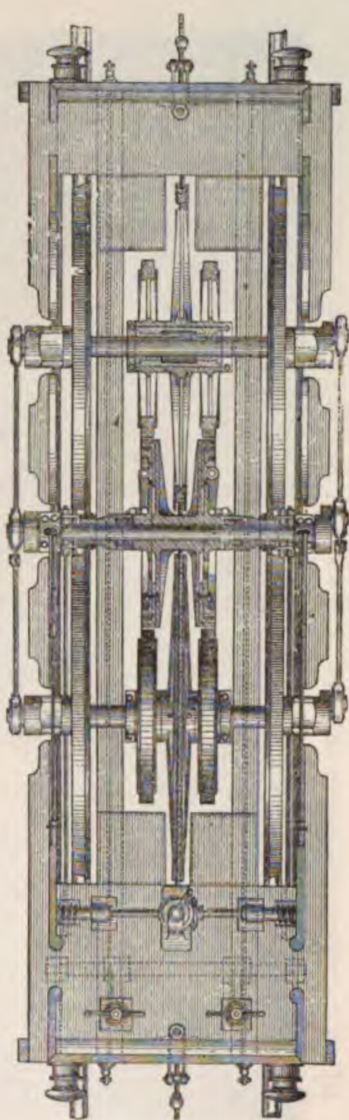
sable qui formeront une surcharge importante, et le sable en poussière servira en même temps, s'il est nécessaire, pour empêcher le glissement sur des rails trop gras.

L'appareil est installé de la manière suivante (fig. 101). Le câble moteur forme une chaîne sans fin, il va d'une extrémité à l'autre du plan; porté, au milieu de la voie, sur de petits galets de friction qui le dirigent dans les courbes, il arrive au sommet où il s'enroule sur les gorges d'une couple de grandes poulies en fer qui sont mises directement en mouvement par la machine motrice. Il redescend ensuite en ligne droite au bas du plan, où il est maintenu par un tendeur, et remonte alors le long de la voie.

Fig. 101. — Application proposée du système Agudio sur les lignes d'accès au tunnel du Saint-Gothard.

Quand le train arrive au bas du plan, machine en tête, le locomoteur vient s'atteler à l'arrière, les poulies se mettent en mouvement sous l'impulsion du câble, et le mécanicien, placé sur le locomoteur, embraye les roues dentées dont nous parlions plus haut, qui transmettent aux roues porteuses le mouvement de rotation des poulies. Il peut d'ailleurs régler la vitesse à volonté en agissant





PLAN et COUPE horizontale du locomoteur Agudio sur un des essieux et sur l'arbre central.

Fig. 103.

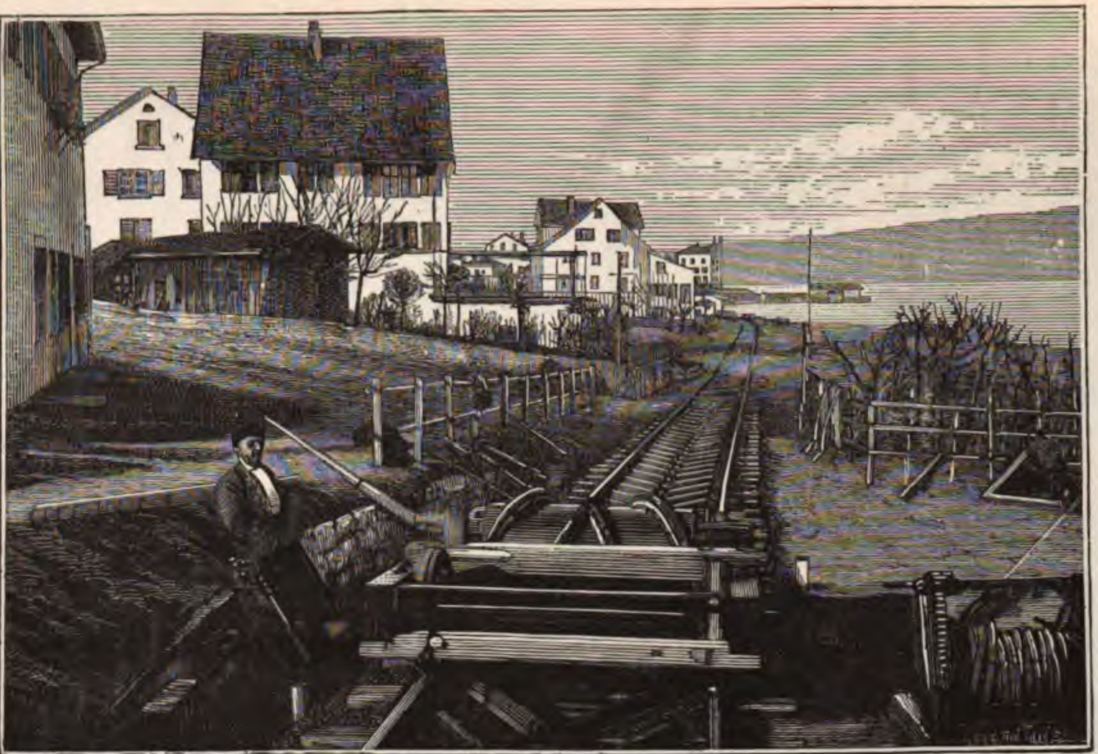


Fig. 104. — Ligne de Wädensweil à Einsiedeln. Application de la crémaillère héliçoidale Wetli qui s'est brisée dans l'accident du 30 novembre 1876.

sur cet embrayage, absolument comme il gouverne une locomotive ordinaire au moyen de son régulateur.

En outre, l'appareil est pourvu de freins énergiques qui lui permettraient de s'arrêter sur la voie en cas d'accident imprévu; tant que le câble résiste, le mécanicien agit sur les roues porteuses au moyen de freins à sabots du type ordinaire; dans le cas contraire, il cherche un point d'appui sur les rails, et amarre le train en quelque sorte au moyen de quatre freins à mâchoires.

Sur les pentes modérées, les freins ordinaires suffisent à la descente. Le locomoteur avance simplement avec les poulies motrices débrayées et se développant librement sur le câble moteur immobile. Mais si ces freins ne suffisaient pas, on pourrait serrer plus ou moins les embrayages pour introduire une résistance nouvelle qu'on réglerait à volonté, et qui aurait pour limite extrême le glissement du câble sur les roues calées.

Dans le projet de M. Agudio, on emploierait comme machines motrices des turbines utilisant les chutes d'eau si abondantes qui actionnent maintenant les perforateurs à air comprimé servant à creuser le tunnel.

Une disposition d'engrenages convenables permettrait de donner au câble des vitesses différentes pour remorquer les trains de voyageurs ou de marchandises, comme on le voit sur la figure.

Le système Agudio n'a pas encore reçu d'application définitive, mais il y a lieu de penser qu'il est appelé à rendre des services précieux dans la traversée des montagnes. Selon le jugement autorisé de M. Couche, le maître en ces matières, « il constitue plus qu'un simple perfectionnement, c'est réellement une solution nouvelle, se pliant aux circonstances et reculant d'une manière inespérée les limites d'inclinaison, de rayon de courbure, et de longueur dans lesquelles il fallait se renfermer pour les plans inclinés à traction directe, plans chers à établir, et non moins chers à exploiter. »

CHAPITRE II

LES CHEMINS DE FER À CRÉMAILLÈRE.

Dans cette disposition, on cherche à donner à la locomotive un point d'appui extérieur, et on pose à cet effet sur la voie une sorte d'échelle ou crémaillère sur laquelle la machine se remorque elle-même en actionnant une roue dentée qui engrène avec cette crémaillère. C'est là une solution qui est devenue célèbre aujourd'hui, depuis que l'éminent constructeur, M. Riggenbach s'est créé une sorte de spécialité de l'établissement des lignes à crémaillère dans les pays de montagnes.

Crémaillère à dents hélicoïdales. — Nous signalerons seulement la disposition adoptée par M. Wetli, qui fut appliquée pendant quelque temps, sur la ligne de Wädensweil à Einsiedeln (fig. 104). Les dents de la crémaillère étaient disposées obliquement à l'axe de la voie de manière à former un engrenage hélicoïdal sur lequel les frottements sont beaucoup moins sensibles que sur les dents rectilignes des engrenages ordinaires. Elles formaient alors autant de chevrons en forme de V, ayant leurs sommets dans l'axe de la voie, et posés sur les traverses entre les rails (fig. 105 et 106); le tambour moteur, pourvu de saillies hélicoïdales formées par l'enroulement de ce V, engrenait avec ces chevrons successifs, rapprochés de manière à ce qu'il y en eût toujours un en prise au moins.

Le système Wetli n'a pas reçu d'autre application que celle-ci, et il fut abandonné à la suite d'un accident terrible qui se produisit sur la ligne d'Einsiedeln à Wädensweil le 30 novembre 1876, après un mois d'exploitation environ. Un train d'essai était monté au sommet de la rampe avec un wagon de marchandises

chargé de 20 tonnes; à la descente, plusieurs dents de la crémaillère se rompirent, la machine fut emportée sur la pente avec une vitesse vertigineuse que les freins furent impuissants à modérer, et elle vint se briser au bas avec son wagon.

Il semble toutefois que cette catastrophe doit être attribuée plutôt aux défauts de la construction qu'à un vice inhérent au système lui-même, et il y a lieu de penser qu'avec une crémaillère plus robuste et une voie bien construite, le système Wetli aurait pu donner des résultats aussi satisfaisants que les crémaillères à dents rectilignes qui sont si fréquemment appliquées aujourd'hui.

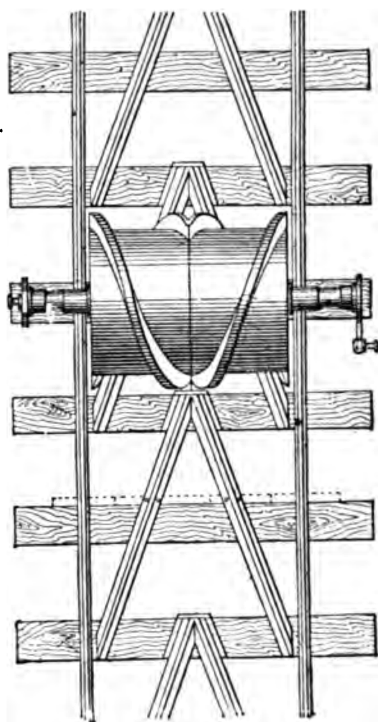


Fig. 105. — Vue de la crémaillère Wetli.

Crémaillère à dents rectilignes. — La première voie à crémaillère fut établie en Amérique sur le mont Washington dans le New-Hampshire. Cette ligne présente une longueur de 4,022 mètres, et elle rachète une différence de hauteur de 1,098 mètres avec une inclinaison moyenne de 0,27. On y avait appliqué auparavant le système Fell, qui emploie, comme on sait, pour obtenir le surcroît d'adhérence nécessaire, un rail central sur lequel pressent les roues motrices horizontales de la machine; mais comme cette disposition ne donna pas de résultats satisfaisants, on se décida à la remplacer définitivement par une crémaillère, en munissant la machine d'une roue dentée qui engrenait avec celle-ci.

La chaudière de la machine du mont Washington est sup-

portée par des tourillons, autour desquels elle peut osciller librement, de manière à rester toujours verticale malgré les variations de l'inclinaison ; la machine est disposée d'ailleurs à peu près comme celle du Righi, et munie d'un frein automatique à air et d'un frein à main. Enfin, les deux wagons qui constituent le train sont munis chacun d'une roue dentée qui sert de frein.

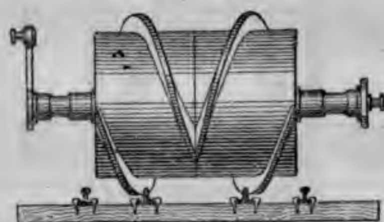


Fig. 106. — Vue du pignon à dents hélicoïdales engrenant avec la crémaillère Wetli.

Chemin du Righi. — Cet exemple décida deux ingénieurs suisses, MM. Riggenbach et Näff, à tenter la même application en Europe. Ils construisirent une voie analogue sur le mont Righi qui se présentait dans des conditions particulièrement favorables, puisque cette montagne forme au-dessus du lac des Quatre-Cantons, un massif isolé facilement accessible. Cette ligne curieuse, qui devint bientôt célèbre, abonde en nombreux ouvrages d'art et en points de vue pittoresques, comme on peut voir d'après la figure 107 qui représente le pont de Schnurtobel, et elle a été parcourue par tous les touristes qui ont visité la Suisse. Elle part de Witznau sur le lac des Quatre-Cantons pour aller jusqu'à Righi-Kulm, où elle atteint le sommet de la montagne : elle présente une longueur totale de 5,144 mètres ; et franchit une hauteur verticale de 1,113 mètres, avec une pente moyenne de 25 centimètres par mètre.

La voie est unique, mais elle présente un croisement au milieu de la longueur. Elle est formée de rails Vignole pesant 16 kilog. et maintenus à l'écartement ordinaire de $1^{m},445$.

La crémaillère est formée de deux barres de fer parallèles entretoisées par des échelons qui sont écartés de $0^{m},10$ d'axe en axe, et rivés à froid sur ces montants. Les tronçons de crémaillère ont 3 mètres de longueur, ils sont fixés sur les traverses par des tire-fonds et assemblés entre eux par des couvre-joints bou-





Fig. 107. — Chemin à crémaillère du Righi. — Pont de Schnurtobel.

lonnés. La crémaillère s'étend d'ailleurs sur toute la voie sans aucune solution de continuité, car la machine ne saurait marcher sur une voie lisse.

La chaudière est fixée d'une manière invariable sur le châssis de la machine, seulement elle est disposée de manière à ce que le ciel du foyer, ainsi que les tubes, soit entièrement recouvert d'eau sur une rampe d'inclinaison de $0^m,19$. La pression normale est de 12 atmosphères.

Les quatre roues simplement porteuses ne sont pas calées sur leurs essieux, ce qui facilite le passage dans les courbes de faible

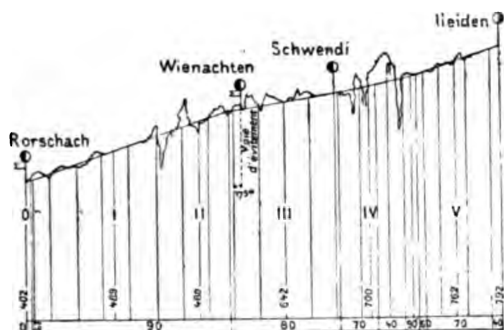


Fig. 109. — Profil en long de la ligne de Rorschach à Heiden.

rayon. La roue motrice, qui est dentée, est située dans l'axe de la locomotive, et elle est commandée par les deux pistons, par l'intermédiaire de pignons et de roues dentées qui engrènent sur l'essieu moteur.

Le wagon renferme cinquante-quatre places, il est toujours placé en amont de la machine comme on le voit sur la figure 108 ; il n'est pas attelé à celle-ci, et possède également des moyens d'arrêt indépendants.

Les freins à main sont formés par des poulies à cannelures calées sur les deux arbres moteurs que le mécanicien peut enrayer à volonté en pressant plus ou moins fortement un levier également cannelé dont les saillies pénètrent dans les creux de la poulie. Il arrive ainsi facilement à immobiliser la roue toueuse,

lonnés. La [illegible]
aucune solution [illegible]
cher sur une [illegible]

La chaudière [illegible]
de la machine, [illegible]
le ciel du foyer, [illegible]
d'eau sur une [illegible]
est de 12 atm[illegible]

Les quatre [illegible]
leurs essieux, [illegible]



Fig. [illegible]

rayon. La [illegible]
locomotive, [illegible] de la
termédiaire [illegible] par l'in-
l'essieu moteur [illegible] engrènent sur

Le wagon [illegible]
placé en amont [illegible] Il est toujours
il n'est pas [illegible] la figure 108 ;
d'arrêt indépendant [illegible] des moyens

Les freins [illegible]
calées sur [illegible] à cannelures
rayer [illegible] mécanicien peut en-
également [illegible] un levier
poulie. Il [illegible] dans les creux de la
[illegible] la roue toueuse.

[illegible]eindre
[illegible] cures
[illegible]uristes
[illegible]r par
[illegible]).
[illegible]rs au-
[illegible]s des
[illegible]inent
[illegible]ies à

[illegible]e
[illegible]i
[illegible]s
[illegible]a
[illegible]ns
[illegible] de
[illegible]elief
[illegible]re, en
[illegible]e beau-



Constance, et s'élève d'une hauteur de 390 mètres pour atteindre à la cote de 792 (fig. 109) à Heiden, station célèbre par ses cures de petit lait. Cette ligne bien connue également des touristes traverse un pays très pittoresque, comme on peut en juger par la figure qui représente la station de Wienachten (fig. 110).

En dehors de la ligne de Rorschach à Heiden, et de divers autres chemins industriels également mixtes établis déjà dans des conditions analogues par M. Riggenbach, cet ingénieur éminent fait actuellement des études sérieuses pour appliquer les voies à

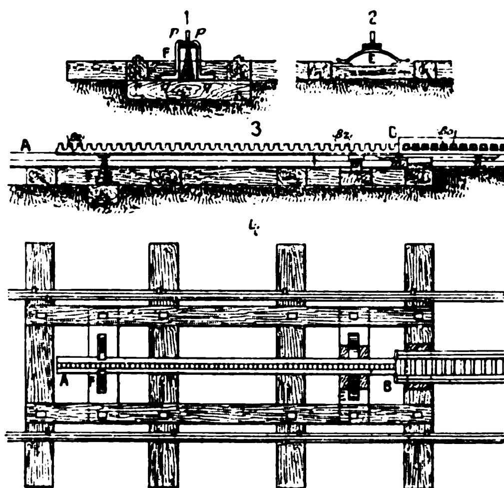


Fig. 111.

crémaillère à la traversée de la Forêt-Noire, afin de réunir la ville de Fribourg dans le bassin du Rhin, à celle de Neustadt dans celui du Danube. On a même songé à adopter ce même type sur les lignes d'accès du tunnel du Gothard, et il est certain que la voie mixte, qui introduirait, il est vrai, certaines difficultés dans l'exploitation, réduirait dans une proportion énorme les frais de construction, puisqu'elle s'accommoderait sans difficulté au relief du sol; le prix de la voie en crémaillère ne dépasse guère, en effet, 30,000 francs le kilomètre, et elle serait en outre beaucoup plus courte qu'une route ordinaire.

La disposition qui fait le principal intérêt des locomotives pour voie mixte, c'est celle de la transmission du mouvement qui doit varier avec la nature de la voie. Le piston attaque généralement un essieu intermédiaire, qui, au moyen d'engrenages, transmet son effort, soit au tambour engrenant sur la crémaillère, soit, par l'intermédiaire d'un second faux-essieu, aux roues motrices par adhérence. Un système d'embrayage ingénieusement disposé permet de changer à volonté le mode d'action ; mais on ne doit d'ailleurs jamais employer simultanément les deux transmissions, dans les parties de voie en crémaillère; car il se produirait des glissements dangereux si la roue dentée n'avait pas rigoureusement le diamètre de la roue lisse tournant au contact des rails.

Dans une autre disposition, la roue dentée est calée sur l'essieu des roues motrices par adhérence, mais celui-ci porte alors deux roues supplémentaires non calées qui, dans les parties en crémaillère, tournent sur des rails spéciaux rehaussés au-dessus des rails ordinaires, tandis que les roues motrices tournent en l'air sans gêner la marche.

Dans les premières dispositions, l'entrée en crémaillère au sortir des voies en palier présentait de nombreuses difficultés, car il fallait arrêter la machine, et venir placer à la main l'extrémité mobile de la crémaillère sous la roue dentée pour qu'elle engrenât; aujourd'hui, le passage s'effectue automatiquement sans arrêter la machine, grâce aux dispositions suivantes :

La crémaillère fixe est prolongée par une partie de crémaillère AB qui est mobile (fig. 111, coupes 3 et 4), et les dents, au lieu d'être de simples échelons rivés dans deux flasques latérales, sont insérées sur une base inférieure pleine et sans flasques. Celle-ci est articulée en *m* sur la crémaillère fixe, et elle repose sur la voie par deux ressorts, l'un à lame, E (coupe 2), l'autre à spirale, F (coupe 1) qui est muni également de deux guides latéraux P pour prévenir les déviations de la crémaillère mobile. Celle-ci cède alors doucement sous l'impulsion de la roue dentée dès qu'elle se présente, et la roue arrive à engrener régulièrement avant d'atteindre en B la crémaillère fixe.



Fig. 112. — Vue du chemin de fer funiculaire à crémaillère du Giessbach.

Chemin de fer du Giessbach. — Un des types les plus curieux de chemin de fer à crémaillère est celui qui vient d'être établi par M. Riggenbach, en 1879, sur le flanc de la montagne du Giessbach, non loin des célèbres cascades de ce nom (fig. 112). Cette ligne part du débarcadère des bateaux sur le lac de Brienz pour s'élever jusqu'à l'hôtel voisin des cascades à un niveau de 93 mètres au-dessus de son point de départ. Elle présente une longueur totale de 860 mètres avec une pente moyenne de 28 centim. par mètre. C'est en même temps un chemin de fer funiculaire, car les trains sont remorqués à l'aide d'un câble sur la crémaillère; mais, d'autre part, il n'exige aucune machine motrice proprement dite, le moteur unique est fourni par de l'eau qu'on emprunte au torrent du Giessbach et qui descend jusqu'au lac avec le train, en fournissant à celui-ci le supplément de force nécessaire pour soulever le train montant.

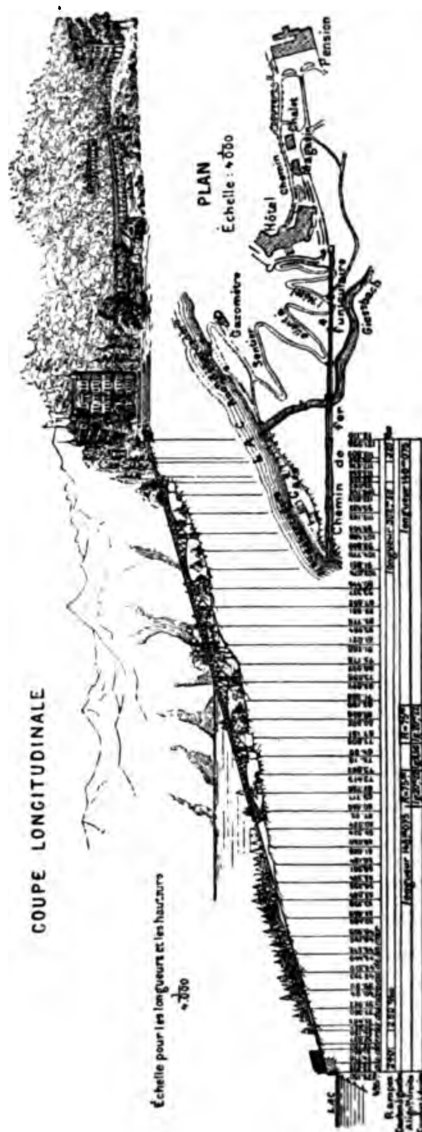


Fig. 113. — Chemin du Giessbach. Coupe longitudinale et plan.

D'autre part, la voie est unique sur presque tout son parcours, ce qui a obligé à construire une voie de croisement vers le milieu du plan, afin de permettre la rencontre des deux trains. Ce croisement s'effectue même automatiquement, sans qu'il soit besoin d'aucune aiguille, et chacun des deux trains se rend de lui-même, comme nous le dirons tout à l'heure, sur la voie qui lui est destinée.

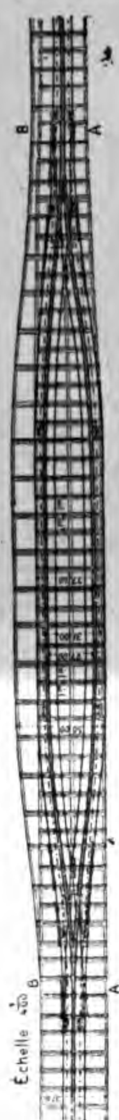


Fig. 114. — Chemin de fer funiculaire du Giessbach.
Disposition de voie assurant le croisement automatique des trains montant et descendant.

Le tracé du profil reste entièrement droit (fig. 113), et il se dévie seulement en arrivant au croisement, de manière à reporter à une distance de $2^{m},666$ les axes des deux voies. La largeur de la voie est de 1 mètre.

La station de départ au bord du lac est située à un niveau de 39 mètres au-dessus du débarcadère, mais elle est raccordée à celui-ci par une longue montée couverte qui fournit un accès aux voyageurs.

Le chemin du Giessbach présente peu de terrassements importants, le seul ouvrage d'art considérable est un viaduc de cinq arches en fer formant plus de la moitié de la longueur totale du plan.

La voie est soutenue par des traverses en chêne écartées d'un mètre d'axe en axe, et entretoisées par des pièces accessoires qui deviennent nécessaires pour prévenir le glissement sur des rampes aussi considérables. La crémaillère est fixée au milieu de la voie, comme au Righi, entre les deux rails, elle est formée également de deux joues latérales entre lesquelles on a rivé des dents en forme de trapèze, de 12 centimètres carrés de section.

Le croisement s'opère automatiquement, comme nous l'avons dit plus haut, au moyen de la disposition suivante :

Les roues de l'unique wagon qui forme l'un des trains ont toutes les boudins de leurs bandages extérieurs, tandis que celles du wagon formant l'autre train ont leurs boudins intérieurs. D'autre part, on remarque, en étudiant le croisement fig. 114, que le rail de gauche, en B, se bifurque sans solution de continuité aux deux extrémités du croisement, tandis que le rail de droite se termine toujours en pointe, en A, en laissant un vide suffisant pour assurer le passage des boudins des voitures allant dans les deux sens. Dans ces conditions, la voiture à boudins intérieurs qui arrive en montant, par exemple, venant du tronc commun, se range à droite, obéissant à l'action directrice de la branche intérieure du rail de gauche, tandis que la voiture à boudins extérieurs qui est guidée par la branche extérieure se range toujours à gauche en montant. Il en est de même à la descente, et chaque voiture passe toujours sur la même branche de croisement, quel que soit le sens de sa marche.

Le wagon de voyageurs (fig. 115) comprend cinq compartiments renfermant chacun 8 places, avec un sixième pour les bagages. Les bancs sont en gradins et forment des rangées parallèles qui se font face deux à deux. Au-dessous du plancher est ménagé un réservoir en tôle dans lequel on introduit, avant de partir du sommet, le poids d'eau qui fournit l'effort moteur. En avant, est la plate-forme du mécanicien, d'où il peut ouvrir au besoin le réservoir, et agir sur les freins.

Le wagon repose sur six roues, celles d'avant sont calées sur leur essieu, et soumises à l'action des freins. L'essieu d'avant reçoit également la roue dentée C qui engrène avec la crémaillère.

Outre les freins ordinaires à sabots, la voiture est munie d'un frein de détresse automatique. C'est un levier à crochet E maintenu par un contre-poids qui est fixé sur la tige de traction, et qui reste soulevé tant que le câble est tendu ; s'il se produisait une rupture, le crochet viendrait s'amarrer sur la crémaillère, et arrêterait le wagon.

Le câble est en acier avec une âme en chanvre, il peut résister à un effort de 20 tonnes, dix fois supérieur à celui qu'il exerce en service.

L'eau qui fournit l'effort moteur est accumulée dans un réservoir situé au sommet qui reçoit le courant détourné du Giessbach. Le wagon montant vient s'arrêter à une faible distance de ce réservoir, et le mécanicien peut remplir sa caisse sans quitter sa plate-forme. On a soin de régler le poids d'eau ainsi introduit d'après celui du wagon montant à soulever qui est plus ou moins chargé de voyageurs, et dont le poids peut varier de 6,000 à 9,500 kilogr. En arrivant au bas du plan, une soupape de décharge vide automatiquement dans le lac l'eau ainsi entraînée.

La durée du voyage est de six minutes, et, en tenant compte du temps exigé pour les différentes manœuvres, on peut calculer que les trains se succèdent toutes les dix minutes au moment de l'arrivée des bateaux.

La vitesse des trains est de 1 mètre à la seconde, et il faut ainsi 346 secondes pour effectuer le parcours total; cette vitesse peut paraître bien faible, mais s'il fallait franchir cette hauteur de 93 mètres sur une voie ordinaire ayant une pente de 6 millimètres environ, le temps exigé serait de 15 minutes au moins, car le développement de la voie n'atteindrait pas moins de 15 kilomètres.

Châssis

Echelle $\frac{1}{100}$

Fig. 115. — Chemin de fer funiculaire du Giessbach. — Vue extérieure et coupe du wagon et de son châssis.

CHAPITRE III

L'AIR COMPRIMÉ ET LES ASCENSEURS SUR LES VOIES FERRÉES.

Emploi de l'air comprimé pour assurer la traction sur les fortes rampes. — En dehors des différentes dispositions qui empruntent à une locomotive à crémaillère ou à une machine fixe à treuil l'effort auxiliaire qui est nécessaire pour entraîner un train sur une pente un peu rapide, on peut avoir recours à un autre moyen et employer, par exemple, la pression de l'air comprimé ou raréfié. On installe alors le long de la voie un tube étanche dans lequel on crée une pression artificielle qui chasse un piston mobile dans l'intérieur du tube. Ce piston, dont la tige sort à l'extérieur par une fente longitudinale pratiquée dans le tube, fournit le moteur auxiliaire nécessaire et entraîne avec lui sur la rampe le train remorqué.

Tel est le principe des tubes atmosphériques qui furent appliqués en France sur le chemin du Vésinet à Saint-Germain, et qui avaient été essayés également, d'ailleurs, à diverses reprises, notamment en Angleterre et en Irlande. Nous pourrions citer, par exemple, la ligne de Kingstown à Dolkey, qui avait 5 kilomètres de longueur, et celles de Londres à Croydon et de Plymouth à Exeter, dont la longueur était de 12 kilomètres environ. Dans ces différentes expériences, l'effort moteur était fourni par la pression atmosphérique s'exerçant derrière le piston, tandis qu'on faisait le vide à l'avant; elles donnèrent d'ailleurs des résultats défavorables. La rainure longitudinale était obturée au moyen d'une soupape flexible formée de deux bandes de cuir, mais on ne put réussir à la maintenir bien étanche.

Au lieu de faire le vide dans le tube, on peut essayer de re-

fouler de l'air comprimé derrière le piston, et obtenir ainsi un effort plus énergique sans augmenter les dimensions du tube.

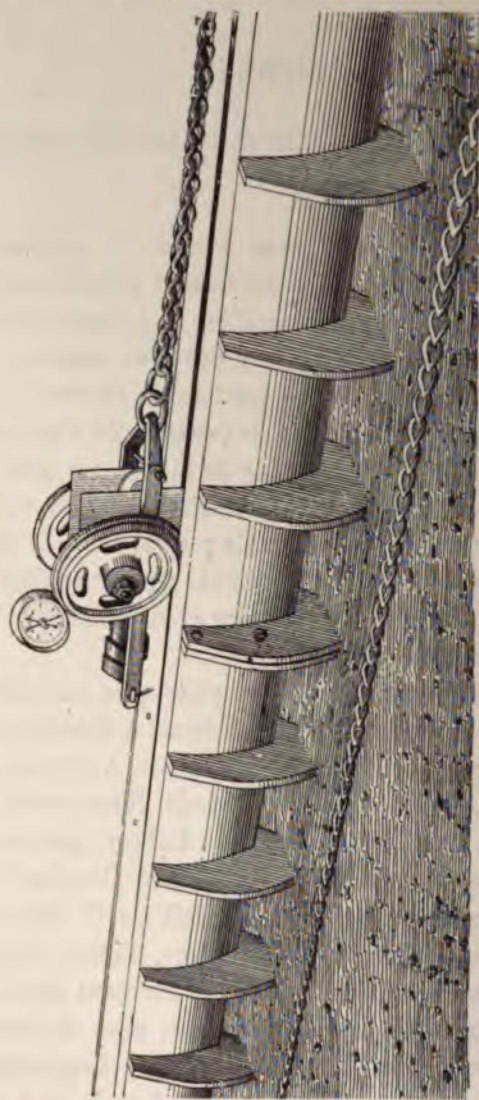


Fig. 116. — Vue extérieure du tube de l'ascenseur à air comprimé de Plainpalais.
(La chaîne représentée a servi seulement aux essais préliminaires, elle est sans emploi en service courant.)

Telle est l'idée qui a été appliquée par M. Turettini sur la colline de Plainpalais près de Genève, elle se présente d'ailleurs là dans

des conditions beaucoup plus satisfaisantes au point de vue théorique, et elle paraît appelée à y donner des résultats meilleurs.

Dans la disposition adoptée à Plainpalais, l'air comprimé qui est refoulé dans le tube pour chasser le piston est aspiré par un compresseur dans un grand réservoir spécial où il est emmagasiné à l'avance, et, lorsqu'il a rempli tout le tube, il est ramené dans ce même réservoir par le train descendant qui suit. Celui-ci chasse alors le piston devant lui et se crée ainsi un frein particulièrement sûr et efficace, en même temps qu'il restitue, par la compression de l'air, la plus grande partie de l'effort moteur dépensé pour l'ascension du train précédent.

Dans ces conditions, le travail de descente des trains est utilisé aussi complètement que possible; et, si on considère d'autre part que les compresseurs d'air seront actionnés par les chutes d'eau toujours nombreuses dans les pays de montagnes, on voit que la force motrice est recueillie à peu près gratuitement, et qu'un pareil système, s'il est réellement pratique, permet de réduire dans une large proportion les frais de construction et d'exploitation de la voie. En outre, l'air comprimé, en raison de son élasticité, se prête beaucoup plus facilement qu'un câble aux variations de l'effort moteur de la locomotive en marche, et on n'éprouve ainsi aucune difficulté à entraîner le train tout entier avec sa locomotive, comme dans le système Agudio.

Malheureusement, si l'idée est tout à fait séduisante au point de vue théorique, il faut reconnaître que les difficultés d'application sont considérables, et l'insuccès des essais tentés jusqu'à présent inspire une certaine défiance. Toutefois, l'ascenseur à air comprimé de Plainpalais paraît beaucoup mieux conçu que le tube de Saint-Germain par exemple, car on a pu profiter des nombreux perfectionnements apportés aux machines à air à la suite du percement des grands tunnels, et, de plus, l'installation du tube et de la soupape longitudinale diffère sensiblement de celle de Saint-Germain; enfin les résultats obtenus jusqu'à présent permettent d'espérer que les fuites d'air n'acquerront jamais une intensité dangereuse.

Le tube de l'ascenseur, représenté dans les figures 116 à 118, a un diamètre de 0^m,25, il est établi au milieu de la voie ferrée, sur les mêmes traverses que les rails, et ces derniers sont relevés sur des longrines E (fig. 117) de manière à se trouver ramenés au niveau supérieur du tube. Celui-ci est consolidé par des nervures extérieures B, et il présente sur la génératrice supérieure une fente longitudinale destinée à livrer passage à la barre d'attelage fixée à l'avant du piston mobile qui remorque le train. Cette fente doit toujours être fermée à l'arrière, de manière à enlever toute issue à l'air comprimé ; elle est obturée alors par une sorte de soupape trapézoïdale (fig. 118) qui forme l'un des traits caractéristiques du système. Cette soupape est soulevée au moment du passage du piston, et elle vient s'appliquer hermétiquement dans le siège de même forme qui lui est ménagé sur les deux lèvres de la baie : l'obturation est d'autant meilleure que la pression est plus

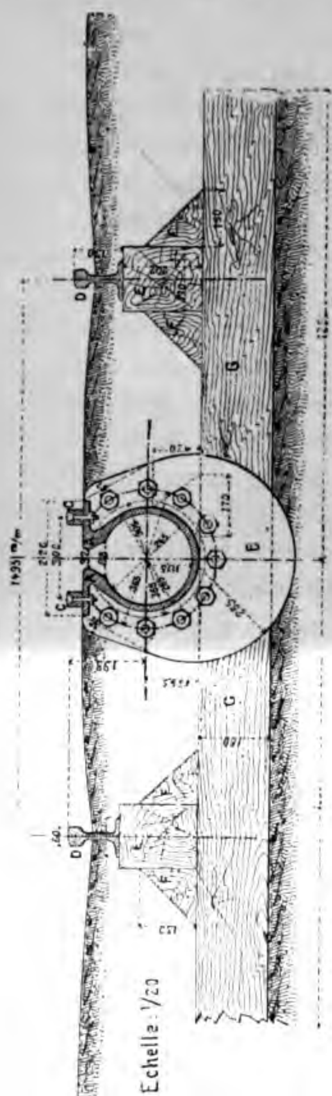


Fig. 117. — Section transversale de la voie et du tube de l'ascenseur.

A, tube de propulsion en fonte.
B, nervures du tube.
C, petits rails sur lesquels roulent les galets du chariot porte-tampon.
E, longrines destinées à relever les rails.

forte à l'intérieur du tube, puisque la soupape se trouve alors maintenue par un effort plus énergique. Celle-ci est reliée par

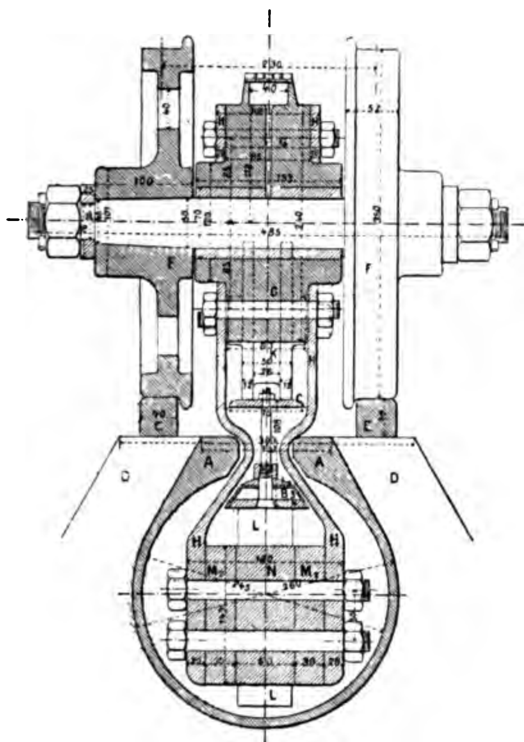


Fig. 118. — Coupe du tube et du chariot porte-tampon.

A, tube en fonte.
B, soupape longitudinale composée de quatre parties.
1, bande de fer en goutte de suif.
2, laniere en cuir gras.
3, soupape en bois.
4, lame de fer plat.
C, lame de fer plat à laquelle la soupape est suspendue.
D, nervures du tube.
E, rails des galets.
F, roues du chariot.
G, palier de l'essieu.
H, barre d'attelage en forme de lyre.
M_1M_2, coupe des barres en fer qui forment la tige du piston et auxquelles est fixée la barre d'attelage.
N, fourrure qui assure le serrage de ces barres.
K,L, galets d'écartement qui maintiennent la soupape pendant le passage de la barre.

des tiges verticales à une barre de fer méplat C qui, au repos, vient s'appuyer contre les bords supérieurs du tube; mais lors-

que les deux bras II de la barre d'attelage M_1M_2 viennent à passer, ils soulèvent cette barre comme on le voit sur la figure 118, et le piston applique ensuite la soupape sur son siège.

Le piston lui-même est en fonte garnie de cuir, et pour obtenir une fermeture aussi étanche que possible, on a pratiqué trois rainures sur le pourtour, et placé dans chacune d'elles un anneau en caoutchouc appliqué sur les parois par la pression de l'air lui-même.

L'air comprimé est amené dans le tube à la pression de 6 atmosphères, ce qui fournit un effort moteur total de 3000 kilogrammes environ, différant peu de l'effort de traction d'une locomotive à deux essieux accouplés.

L'assemblage du piston et de la locomotive à remorquer arrivant au bas de la rampe s'opère sans exiger aucun aiguillage, de la manière suivante : la barre d'attelage sortant du tube de propulsion se termine au jour par un petit chariot-guide qui roule sur de petits rails placés à droite et à gauche de la voie, en E (fig. 117), et qui porte à l'avant un tampon fixe correspondant à un second tampon mobile relié à la locomotive. Pour faire usage de l'ascenseur, le mécanicien abaisse ce second tampon au contact du premier, et tout le train se trouve entraîné dès lors avec le piston mobile. En arrivant au sommet de la rampe, le piston et le chariot mobile s'arrêtent seuls, et le train poursuit sa marche sans arrêt sur la voie en palier rattachée au plan de l'ascenseur.

Au contraire, quand le tampon mobile est relevé, le train tout entier peut passer par-dessus le chariot de l'ascenseur sans rencontrer aucun obstacle.

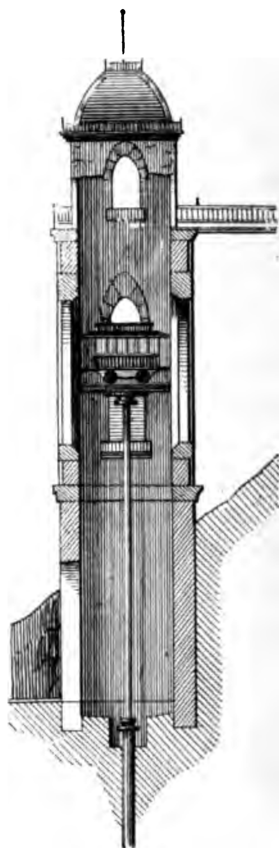
Ascenseurs hydrauliques dans les montagnes. — On se rappelle l'ascenseur hydraulique installé dans une tour du palais du Trocadéro, qui faisait une des curiosités de l'Exposition universelle de 1878. M. Edoux, qui en est l'auteur, a disposé également un grand nombre d'ascenseurs hydrauliques dans différentes maisons de la capitale, et il a eu l'idée de transporter son ascenseur dans les montagnes afin d'utiliser directement les chutes d'eau





Fig. 119. — Vue générale des ascenseurs de M. Edoux qui doivent être établis dans les Pyrénées de Cauterets à La Raillière.

des torrents qui en descendent. La ville de Cauterets a ouvert dernièrement un concours pour l'établissement d'un chemin de fer de baigneurs destiné à mettre la ville en communication avec les sources de La Raillière qui en sont distantes de plus d'un kilomètre, et élevées à une hauteur de 125 mètres au-dessus. Le projet d'ascenseur que M. Edoux avait étudié à cet effet fut adopté de préférence à la ligne à crémaillère de M. Riggenbach et à une nouvelle application du système Fell reprise par M. Tarbé des Sablons.


Fig. 120. — Coupe d'une des tours des ascenseurs hydrauliques.

La disposition proposée par M. Edoux fractionne la hauteur de 125 mètres à gravir en cinq étages différents, de 25 mètres chacun d'élévation, qui sont desservis par autant d'ascenseurs. Ceux-ci sont renfermés dans des tours spéciales représentées en coupe, figure 120, qui sont réparties sur le flanc de la montagne et écartées l'une de l'autre de 40 mètres en moyenne, comme l'indique la figure 119 qui donne une vue d'ensemble de cette installation si curieuse.

Le véhicule à transporter est soulevé jusqu'au sommet du premier ascenseur avec le plateau de celui-ci, puis il se rend automatiquement au pied du second, en suivant la voie ferrée établie sur un palier intermédiaire entre les deux avec une pente suffisante pour déterminer l'entraînement du véhicule ; et la même manœuvre se répète toujours pour le passage d'un ascenseur au suivant. Il en est de même à l'arrivée au sommet du dernier ascenseur, car celui-ci est élevé de 10 mètres au-dessus du niveau des sources, et il est rattaché à La Rail-

lière par un plan incliné à circulation automatique, d'un kilomètre de longueur. La voiture arrive ainsi à destination sans aucune dépense de force motrice, et elle est munie d'ailleurs de freins énergiques pour prévenir tout excès dangereux de vitesse dans la descente des plans.

Le voyage en retour s'opère dans des conditions analogues : à son arrivée à La Raillière, la voiture est reçue sur un truck spécial et ramenée à un plan de retour qui présente également une pente suffisante pour déterminer automatiquement la mise en marche du véhicule. Ce plan va aboutir directement au sommet du second ascenseur en évitant les trois derniers, et celui-ci, qui est muni d'une installation double, ramène le wagon descendant, en même temps qu'il soulève le wagon montant, puis la voiture revient par un autre palier intermédiaire à circulation automatique au sommet du premier ascenseur, d'où elle est descendue à Cauterets à son point de départ.

CHAPITRE IV

LIGNES A VOIE ÉTROITE.

Les lignes à voie étroite présentent aujourd'hui une importance considérable, et comme elles admettent sans difficulté des courbes d'un rayon beaucoup moindre que les lignes du type normal, on n'hésite pas à y avoir recours pour éviter les travaux d'art si dispendieux qu'entraîneraient les voies larges dans des pays souvent montagneux écartés des grandes voies de communication exploitées déjà par les premiers chemins de fer.

On en rencontre dès à présent quelques exemples en France, notamment la ligne de Hermes à Beaumont, la première en date des lignes à voie étroite, celle d'Anvin à Calais : à l'étranger, nous citerons principalement les lignes du Brésil qui ont pu être établies presque toutes dans les mêmes conditions, et on a pu ainsi réduire souvent au tiers, de 200,000 à 80,000 francs, le prix de revient kilométrique de la voie ferrée.

L'adoption de la voie étroite entraîne sans doute, dans les pays qui ont déjà la voie normale, des transbordements qui sont toujours gênants pour l'exploitation ; mais on peut arriver à les réduire dans une proportion très considérable, en employant par exemple des caisses ou des plates-formes qui puissent être chargées directement à l'aide de grues sur les trucks de la voie étroite, comme l'application en a été faite récemment d'une manière particulièrement intéressante sur la ligne de Ribeauvillé reliée à l'une dés gares du chemin de Strasbourg à Bâle.

Quoi qu'il en soit de cette difficulté, on ne saurait nier que les lignes à voie étroite ne présentent souvent des avantages réellement décisifs, et c'est ainsi souvent qu'on pourra réussir à con-

struire des voies ferrées dans les régions accidentées, dont l'industrie est encore peu développée.

Nous avons cru intéressant de donner à ce sujet quelques détails sur les lignes du pays de Galles ; car elles constituent les chemins à voie étroite les plus anciennement exploités, et elles arrivent à suffire à un trafic que leur envieraient bien des lignes à voie normale.

Les chemins du pays de Galles comprennent dix lignes différentes, dont quatre viennent aboutir à Port-Madoc, où s'embarquent la plus grande partie des ardoises extraites dans les carrières du pays; on compte également dix autres lignes environ établies par des particuliers pour le raccordement de leurs usines. La principale et la plus ancienne des voies ouvertes au public est la ligne de Festiniog allant de Dinas (Rhew-Bryfder), et de Dwffs à Port-Madoc qui en est distant de 21 kilomètres.

La construction de cette voie, qui fut concédée en 1832, présenta de nombreuses difficultés, surtout dans la traversée de Plas-tan-y-Bwlch, station située dans un pays abrupt et pittoresque dont on trouve une vue dans la figure 121. La rampe moyenne est de 12 millimètres, et elle atteint même 16 en arrivant à Dinas. Les courbes sont très nombreuses et rapprochées, dans des conditions tout à fait inadmissibles sur une voie normale; en certains endroits un même train peut occuper à la fois trois courbes repliées dans des sens différents.

La largeur de la voie est de 60 centimètres seulement, et les voitures n'ont qu'un seul tampon central. Quelques-unes ont au milieu une banquette longitudinale, sur laquelle les voyageurs, au nombre de 14, sont assis dos à dos; d'autres, au contraire, sont partagées en compartiments séparés avec banquettes transversales pouvant contenir chacune trois voyageurs. Elles ont en général 3m,50 à 4m,50 de long, et elles sont portées sur des boggies pour assurer le passage dans les courbes.

Le matériel des marchandises est beaucoup plus important que celui des voyageurs à cause du développement qu'a pris le transport des ardoises, et il ne comporte pas moins de 50 wagons par



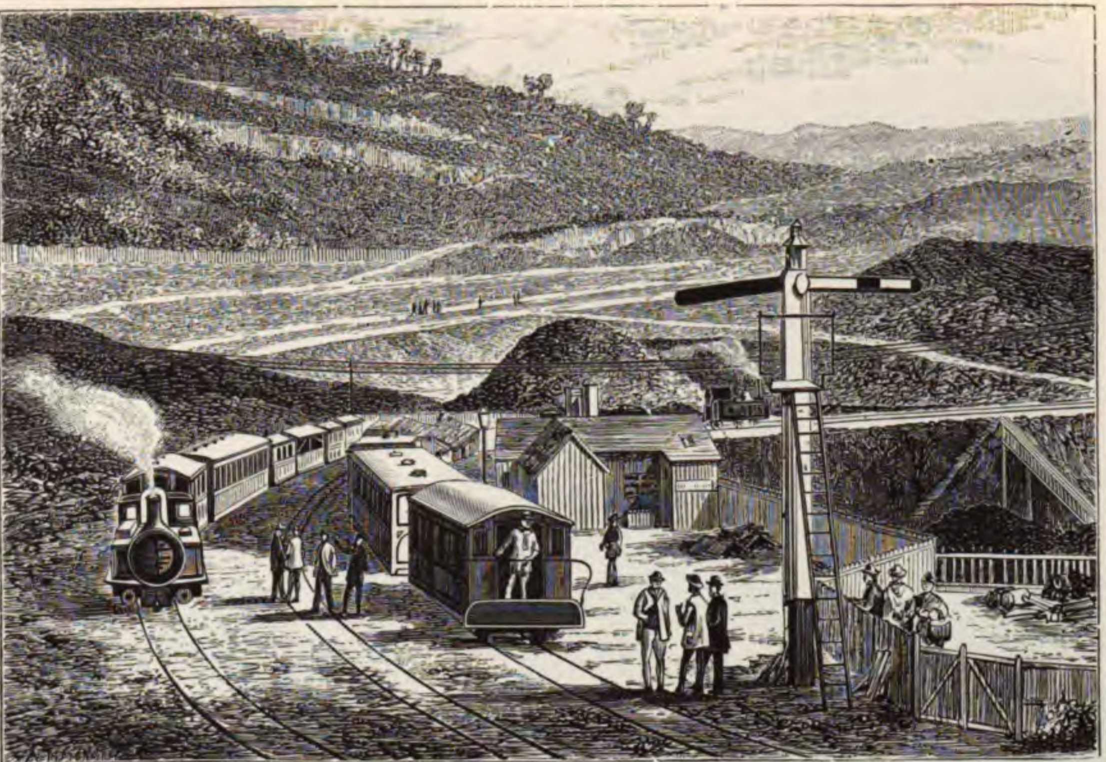


Fig. 121. — Ligne de Festiniog à Port-Madoc. — Vue de la station de Plas-tan-y-Bwlch.

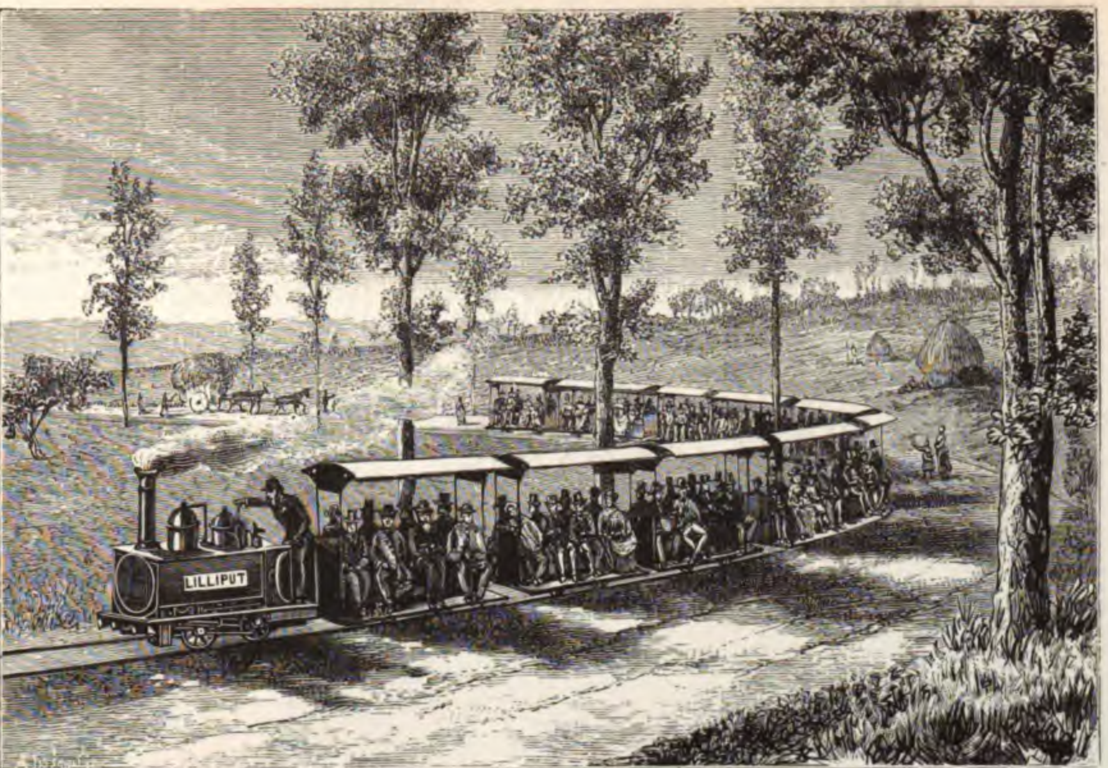


Fig. 122. — Vue de la voie métallique servant à trainer les petits wagons, système Decauville.

kilomètre exploité. Plusieurs machines ont leur mécanisme mo bile par rapport à la chaudière, afin de faciliter le passage dans les courbes ; elles appartiennent au type Fairlie, dont nous avons parlé plus haut.

La vitesse de marche moyenne est de 16 à 19 kilomètres à l'heure, et les recettes annuelles y atteignent près de 30,000 francs par kilomètre. Il est remarquable qu'une voie aussi étroite puisse suffire à un pareil transport ; mais il faut bien reconnaître d'ailleurs que cette faible largeur crée de nombreuses difficultés en raison de l'importance du trafic, car elle oblige à un entretien de la voie très soigné et dispendieux.

Une usine récemment fondée en France à Petit-Bourg, par M. Decauville, s'est créé une sorte de spécialité de la construction des lignes à voie étroite pour un usage industriel ; mais ses voies sont munies alors de traverses en fer, et constituent une sorte de porteur facile à déplacer suivant les circonstances. La figure 122 donne une idée de l'installation de la voie et de ce petit matériel si curieux, et elle montre en même temps que les petites locomotives, telles que les livre M. Decauville, peuvent encore entraîner plusieurs wagons avec un certain nombre de voyageurs. De pareils porteurs répondent très bien aux besoins de l'industrie et même de la grande culture, qui peut ainsi improviser partout, sans terrassement préalable, les voies ferrées dont elle a besoin pour ses transports, et l'usine de Petit-Bourg en a livré déjà un grand nombre dans les différents pays du monde.

SIXIÈME PARTIE

LES VOIES FERRÉES DANS LES VILLES

CHAPITRE PREMIER

VOIES SOUTERRAINES ET AÉRIENNES.

Les chemins de fer Métropolitains de Londres. — Après avoir obtenu de si merveilleux résultats avec les chemins de fer pour les voyages à long parcours, on a essayé d'appliquer dans les grandes villes, où la circulation est si active, ce mode rapide de transport qui répond si bien à cet égard aux besoins de la foule pressée qui remplit les rues. L'application de ce projet n'était pas cependant sans présenter des difficultés spéciales et sans être surtout très dispendieuse ; car ces trains, s'ils sont un peu importants et marchent avec une certaine vitesse, ne peuvent plus circuler sur la chaussée des autres véhicules, il faut leur créer une voie spéciale, comme pour tous les chemins de fer. La place fait alors défaut, et on est obligé de descendre la voie ferrée sous le sol en creusant de longs souterrains comme on l'a fait dans la plupart des grandes villes, ou bien on peut l'élever encore au-dessus des maisons en créant une chaussée aérienne soutenue par un viaduc non interrompu, comme l'essai en a été pratiqué dernièrement à New-York.

Parmi les chemins de fer souterrains, le Métropolitain de Londres est le plus important qu'on puisse rencontrer et, par suite,

nous avons cru devoir donner quelques détails sur les travaux considérables qu'il a exigés.

La ligne du Métropolitain, formant ce qu'on appelle le *inner circle*, ne constitue pas cependant un cercle complètement fermé; car il reste une petite solution de continuité entre les deux points extrêmes, comme on le voit sur la figure 123. Elle part de Bishopsgate et atteint après un long circuit Mansion House à quelque distance de son point de départ. Les deux gares terminales sont situées dans la Cité, au centre même et au point le plus affairé de la ville.

La ligne est possédée actuellement par deux compagnies différentes, le *Metropolitan Railway* qui occupe une longueur de 7240 mètres, depuis Bischop's road jusqu'à Morgate Street, et le *Metropolitan Districts* qui va jusqu'à Mansion House, et dont la longueur est de 10 kilomètres. Ces voies sont reliées avec toutes les grandes lignes d'Angleterre, de telle sorte que les voyageurs peuvent prendre sur le Métropolitain un billet pour une station quelconque du Royaume-Uni.

La plus grande partie du tracé du *Métropolitain* traverse des souterrains descendus à quelques mètres seulement au-dessous du sol, les tunnels occupent ainsi une longueur de 3370 mètres, depuis Edgeware Road jusqu'à King's Cross.

Les gares de Portland road et Gower Street sont même établies complètement dans ces tunnels, ainsi que celle de Backer Street que nous avons représentée sur la figure 124. Cette dernière est le point de départ d'une ligne de banlieue de 3218 mètres de longueur bifurquée sur le Métropolitain. En certains points, on rencontre même deux voies ferrées souterraines qui se croisent à des niveaux différents, comme on en voit un exemple dans le frontispice qui représente l'entrée de Clerkenwell tunnel.

La construction de la voie fut entreprise en 1853 par la compagnie du Métropolitain, elle fut poursuivie au milieu de difficultés techniques sans nombre, car il fallut établir les galeries sans gêner aucun des services publics dans une ville aussi populeuse, déplacer sans les interrompre les conduites d'eau, de gaz, etc. Nous



Fig. 123. — Plan des chemins de fer métropolitains de Londres.
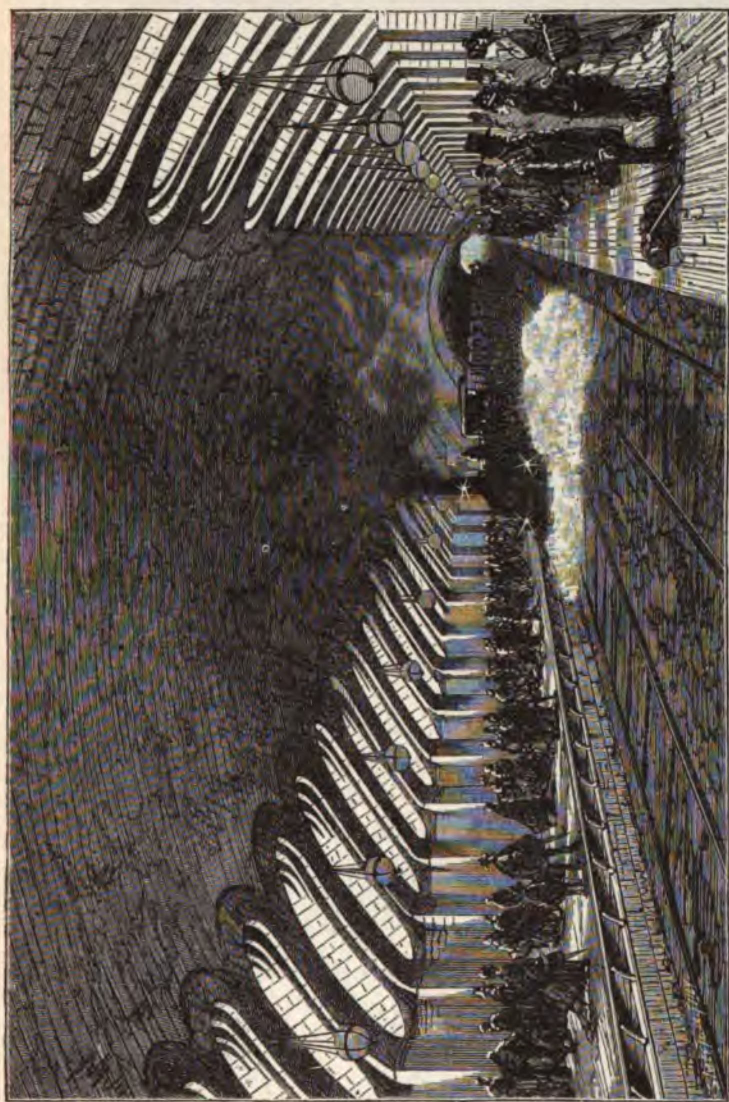


Fig. 124. — Chemins de fer métropolitains de Londres. — Vue de la gare de Backer Street.

avons représenté dans la figure 125 un exemple d'une conduite d'égouts déviée, ainsi que des travaux de soutènement qu'il fallut

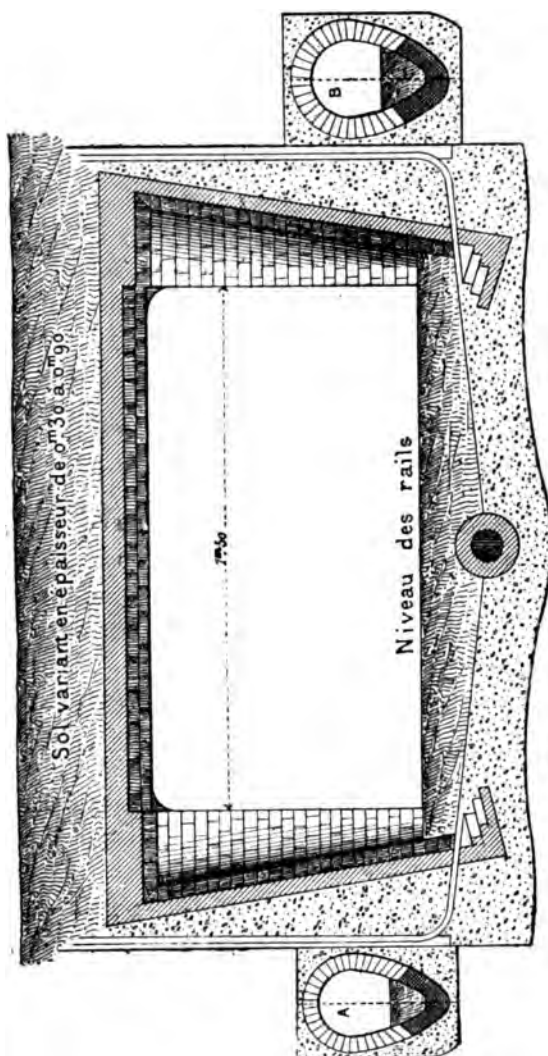


Fig. 125. — Les chemins métropolitains de Londres.
Coupe montrant les égouts déviés en A et B, sur les côtés de la section du tunnel.

exécuter sur la ligne du Métropolitan District en approchant des quais de la Tamise.

Les tunnels ne furent pas construits à la manière ordinaire,

on préféra creuser des galeries découvertes afin de pouvoir travailler à ciel ouvert dans des conditions beaucoup plus sûres et faciles, et on les recouvrit ensuite d'une voûte maçonnée chargée de terre.

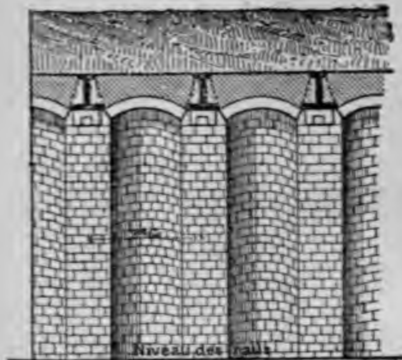


Fig. 126. — Chemins de fer métropolitains de Londres. — Vue des travaux de soutènement des tunnels le long des quais de la Tamise.

Les terrains devenus ainsi disponibles à la surface purent être revendus d'ailleurs par la Compagnie à des conditions très avantageuses.

Nous mentionnerons en particulier la disposition ingénieuse appliquée sur le *Métropolitan Districts*, qui utilise pour la ventilation les tubes pneumatiques destinés à assurer dans la ville la transmission des dépêches. Ce tube AB passe, comme on le voit (fig. 127) au-dessus du tunnel, et il est en communication avec la galerie par les deux soupapes CD et C'D'. Il est parcouru, comme on sait, par un petit wagon qui est appelé en faisant alternativement le vide à l'avant ou en comprimant l'air à l'arrière. Les soupapes fonctionnent seulement lorsque le wagon est en-

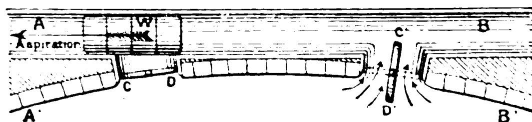


Fig. 127. — Disposition permettant d'assurer la ventilation des souterrains des chemins Métropolitains, au moyen de soupapes communiquant avec les tubes pneumatiques.

traîné par aspiration, et elles fournissent alors à l'air vicié du tunnel une issue vers le tube pneumatique. Lorsque ce wagon vient à passer au-dessus du tunnel en allant de B en A, par exemple, il agit sur un système de leviers qui maintient ces soupapes fermées tant qu'elles se trouvent en avant ; mais lorsqu'il



Fig. 128. — Chemins de fer aériens de New-York, station de la Batterie.



Fig. 129. — Chemins de fer aériens de New-York. Vue générale.

les a dépassés, celles-ci s'ouvrent, et l'air de la galerie s'engouffre alors dans le tube avec une très grande rapidité. Quand le wagon a atteint la fin de sa course, la pression de l'air referme automatiquement les soupapes. Un pareil mécanisme est particulièrement délicat, car la vitesse de marche des wagons pneumatiques atteint 40 kilomètres, et il passe près de vingt wagons par heure. La durée de l'ouverture des soupapes est de deux minutes, et comme

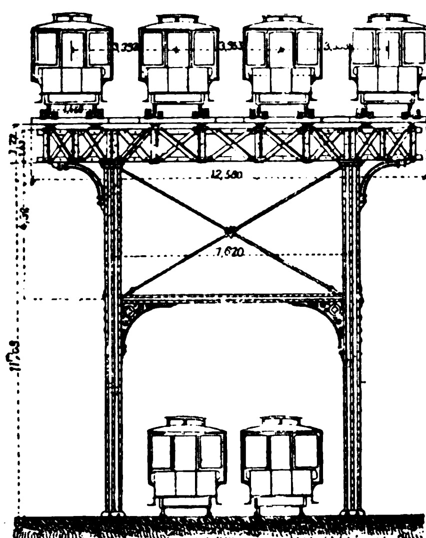


Fig. 130. — Chemins de fer aériens de New-York. — Coupe transversale d'une ligne à quatre voies, et du pont qui la supporte.

celles-ci se trouvent d'ailleurs fréquemment ouvertes, cette disposition si simple et ingénieuse suffit à assainir les galeries.

En dehors des regards qu'on a ménagés sur la voie publique pour assurer la ventilation, on a dû prendre des dispositions spéciales sur les locomotives pour empêcher les dégagements de vapeur et de fumée qui vicieraient l'atmosphère durant la traversée des souterrains. On ferme à cet effet le tirage sur ces machines en entrant dans les tunnels, de sorte que la combustion est presque arrêtée pour ainsi dire avec la production de la fumée, mais comme la chaudière possède une surface de chauffe très considéra-

ble, la chaleur emmagasinée déjà suffit pour assurer la production de la vapeur nécessaire. En s'échappant des cylindres, la vapeur est conduite dans le tender par un tube spécial au lieu d'être dirigée dans la cheminée, et elle est employée à réchauffer l'eau d'alimentation de sorte qu'elle produit ainsi néanmoins un effet utile.

La circulation est très active sur ces voies souterraines, et de la station de Morgate, par exemple, il ne part pas moins de 21 trains pendant l'espace de deux heures seulement sur le Métropolitain,

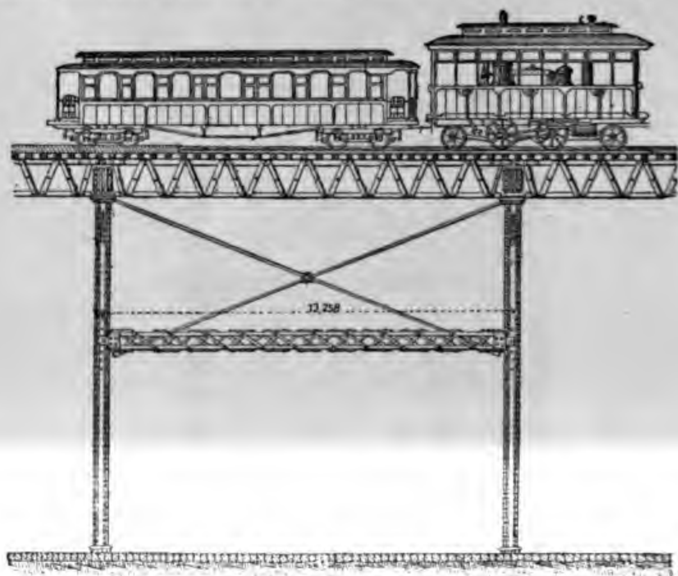


Fig. 131. — Chemins de fer aériens de New-York. — Vue longitudinale des poutres et des colonnes supportant la voie.

et si on ajoute ceux des lignes différentes qui aboutissent à Morgate, on en trouve près de 48.

L'exploitation se fait par le block-system, dans des conditions analogues à celles que nous indiquions dans un chapitre précédent pour les voies ordinaires, aucun train ne peut partir d'une station tant que le train précédent n'a pas quitté la station en avant. On arrive ainsi à éviter toute collision, et on n'a jamais constaté d'accident mortel sur une ligne où ne circulent pas moins de 50 millions de voyageurs par an.

Les chemins de fer aériens de New-York. — A l'inverse de Londres, on n'a pas hésité à New-York à constituer une voie entièrement aérienne, et à reporter le Métropolitain sur une série de viaducs audacieusement lancés par-dessus les maisons de la ville. Cette disposition, si elle n'est pas sans entraîner de nombreuses dépenses et créer certains dangers, est beaucoup plus agréable pour les voyageurs que la traversée des tunnels obscurs et mal aérés de Londres. Le parcours en plein air sur une voie absolument dégagée et d'où l'on peut apercevoir toute la ville, présente en effet un charme tout particulier, et l'aspect des stations et des voies elles-mêmes a également son côté pittoresque, comme on le reconnaîtra facilement d'après les deux figures 128 et 129 qui donnent la vue générale d'une station et de la voie aériennes établies sur l'une des rues les plus fréquentées et au-dessus même d'une ligne de tramways parallèle ; mais la circulation est si active, que les deux voies peuvent se faire concurrence sans inconvénient.

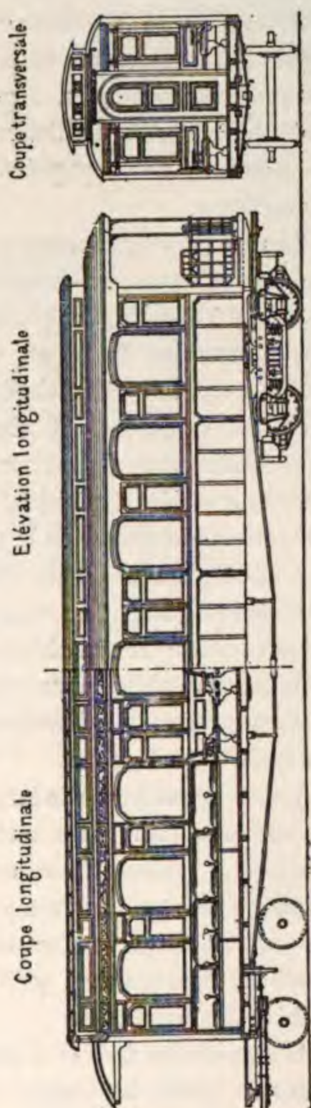


Fig. 132. — Voiture des chemins aériens de New-York.

Le réseau de New-York, aujourd'hui entièrement achevé, comprend cinq voies aériennes formant autant de ponts métalliques de chacun 10 kilomètres de

longueur en moyenne; elles partent toutes du confluent d'East River et d'Hudson River, et se dirigent, en restant presque toujours entièrement droites, vers la rivière de Harlem, le Parc-Central, et l'île de Manhattan. Chacune d'elles comprend quatre lignes différentes, dont deux pour les trains montants, et deux pour les trains descendants, disposées, comme l'indique la figure 130; elles sont toutes d'ailleurs extraordinairement fréquentées, et le nombre de voyageurs annuellement transportés dépasse 60 millions.

Les viaducs sont formés par des poutres en fer en treillis, dont la hauteur varie, au-dessus de la seconde avenue par exemple, de $6^{m},10$ à $15^{m},20$. Ces poutres sont supportées elles-mêmes par des colonnes en fonte, au nombre de deux par travée, reliées par des croix de Saint-André dans le sens transversal, comme l'indique la figure 130. Dans le sens longitudinal, ces poutres sont distantes de 13 mètres, et, en dehors des tirants diagonaux, elles sont reliées également par une poutre horizontale régnant sur toute la longueur de la voie, figure 131.

L'établissement de ces colonnes a exigé des travaux particulièrement difficiles, en raison de la mauvaise nature du terrain; de plus, on se trouva obligé de descendre à des profondeurs souvent considérables, pour arriver au-dessous des conduites d'eau et de gaz, ainsi que des égouts, plutôt que de les dévier, comme on avait fait à Londres.

Les voies ont toutes la largeur du type normal, de $1^{m},450$ d'axe en axe des rails; elles restent presque toutes en ligne droite, mais on y rencontre cependant des courbes d'un rayon très faible, s'abaissant même parfois jusqu'à 27 mètres. Toutefois, les véhicules, qui sont munis de boggies, s'inscrivent facilement dans ces courbes sans qu'il en résulte une usure excessive des rails et des bandages.

D'ailleurs, les barres d'attelage des voitures sont fixées directement au centre des boggies afin de faciliter le déplacement latéral, et, dans la traversée des courbes, elles oscillent jusqu'à $0^{m},46$ de leur position moyenne.



Les voitures dont on voit la coupe et la vue extérieure (fig. 132) ont 11^{m},30 de long et 2^{m},70 de large, l'écartement des centres des boggies est de 9^{m},10. Elles comportent des plates-formes aux deux extrémités, et elles renferment chacune 48 places, dont 32 en long et 16 en travers, elles sont munies du frein à vide de Smith.

Les trains, composés de quatre pareilles voitures au plus, sont remorqués par une petite locomotive-tender munie à l'avant et

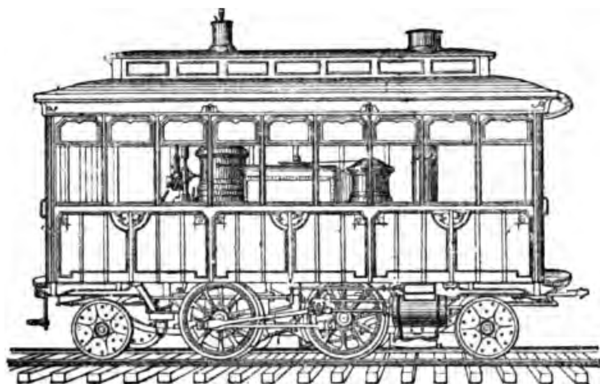


Fig. 133. — Locomotive-tender des chemins de fer aériens de New-York.

à l'arrière d'un truck articulé. Celle-ci, qui est représentée (fig. 133), pèse 5 800 kilogrammes et porte un volume d'eau de 1450 litres.

Les trains se succèdent de trois en trois minutes sur presque toutes les lignes depuis cinq heures du matin jusqu'à huit heures du soir, et on compte ainsi, sur la Troisième Avenue par exemple, 850 trains par jour qui ne représentent pas moins de 2 975 voitures et 93 927 voyageurs.

CHAPITRE II

TRAMWAYS ET CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES.

Les tramways à vapeur et à air comprimé. — A côté des voies métropolitaines exigeant une chaussée spéciale qu'on est obligé d'enfermer dans des tunnels, ou de surélever sur des viaducs, on a essayé d'appliquer directement la voie ferrée dans la rue en lançant ses véhicules au milieu de la circulation générale ; on a constitué en un mot les tramways, qui deviennent aujourd'hui d'un usage si commun dans toutes les villes un peu importantes.

Les premières voitures de tramways étaient desservies généralement par des chevaux, comme les lignes d'omnibus qu'elles remplaçaient. On évitait ainsi tous les inconvénients d'un moteur mécanique, comme le bruit de l'échappement de la vapeur, la fumée, sans compter les pièces en mouvement qui peuvent blesser les passants, etc. ; en outre il est plus facile de s'arrêter à chaque instant pour prendre et descendre les voyageurs en marche, et d'ailleurs la vitesse reste généralement la même qu'avec les omnibus ordinaires, seulement la réduction de l'effort de traction a permis d'augmenter sensiblement les dimensions et la capacité de la voiture.

Toutefois, comme les moteurs animés sont en général très dispendieux, on s'est demandé si on ne pourrait là aussi employer les moyens mécaniques, comme on l'a fait avec tant de bonheur sur les autres voies ferrées. Plusieurs solutions ont été proposées ; mais, jusqu'à présent, le problème, qui présente d'ailleurs de nombreuses difficultés, ne paraît pas encore entièrement résolu.

On se trouve obligé en effet de réaliser un moteur de faible

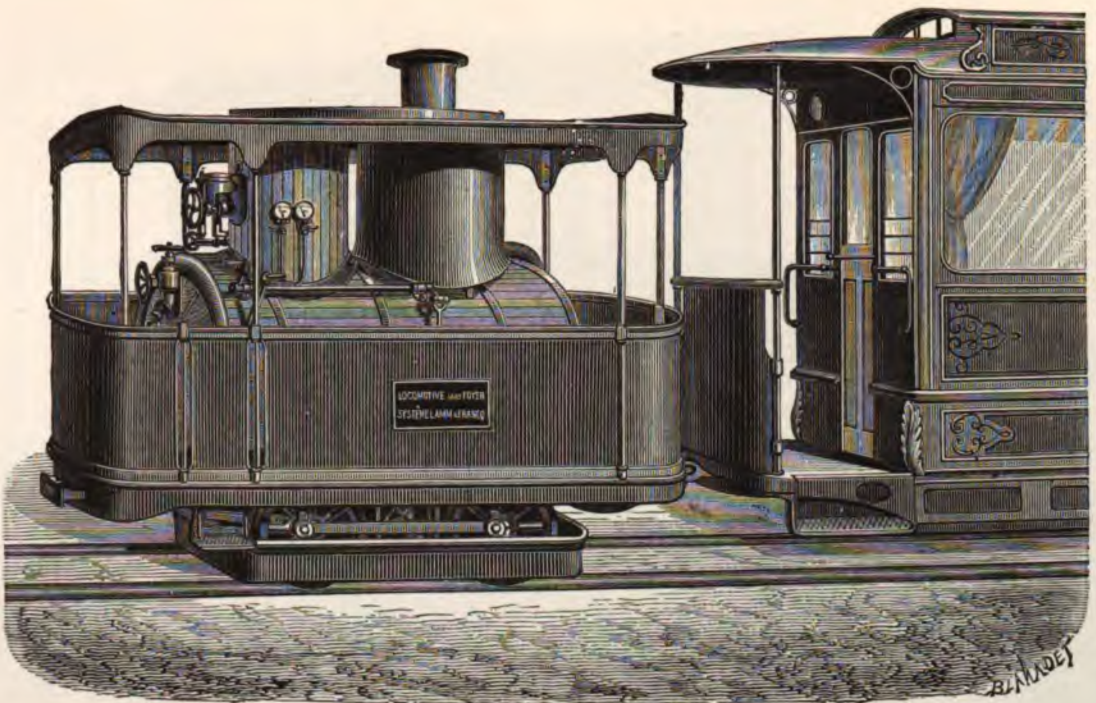


Fig. 134. — Vue de la locomotive sans foyer, système Francq.

masse à cause de la légèreté des rails, de supprimer totalement le bruit qui pourrait devenir dangereux pour les chevaux des

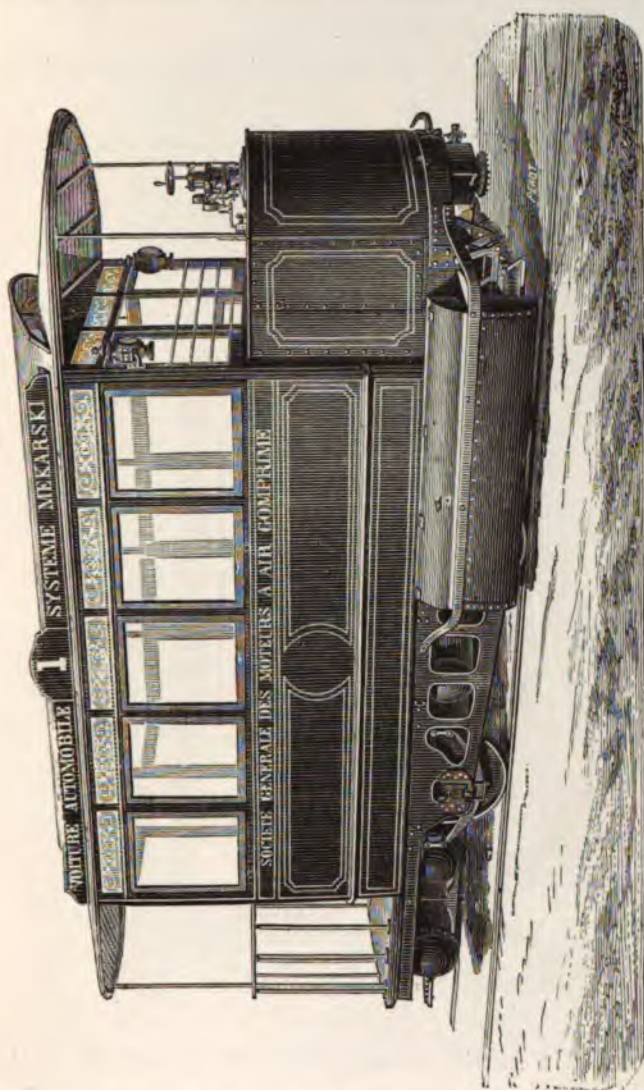


Fig. 1.5. — Vue de la voiture système Mékarski, mue par l'air comprimé.

autres véhicules, et surtout d'empêcher le dégagement de la fumée qui vicierait l'atmosphère. Enfin il faut reconnaître que

cette condition de s'arrêter à chaque instant est tout à fait défavorable pour l'emploi des moteurs mécaniques, qui deviennent surtout avantageux lorsqu'il ont à exercer sans interruption un effort aussi constant que possible.

Parmi les différents essais qui ont été entrepris pour éviter la

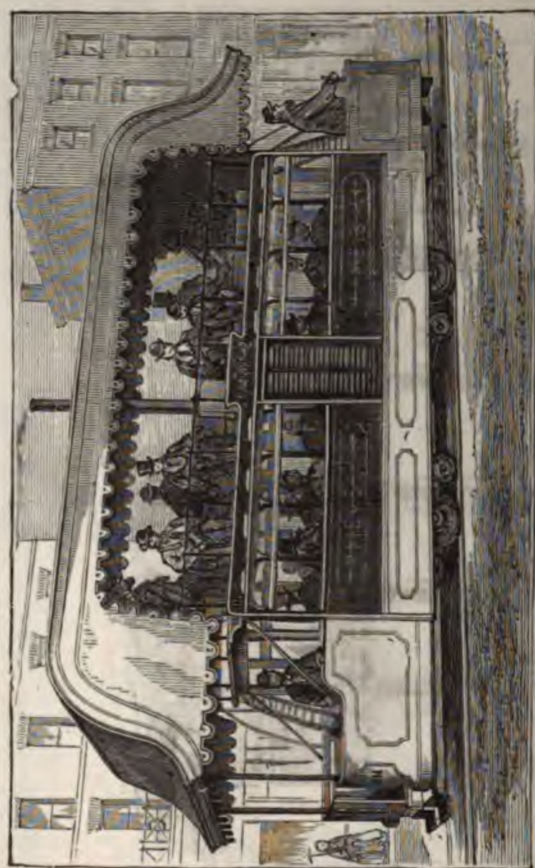


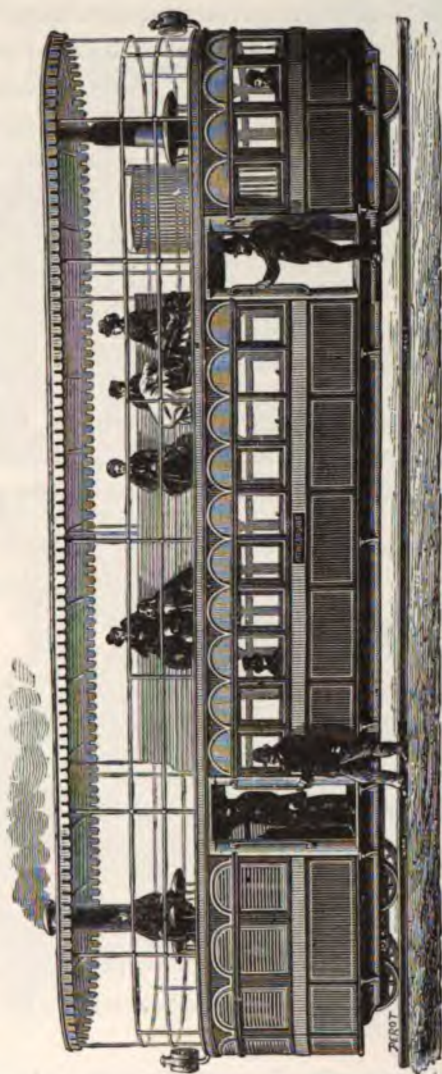
Fig. 136. — Voiture à vapeur des tramways de Londres.

production de la fumée, en supprimant le foyer de la machine motrice, nous citerons, par exemple, la disposition adoptée par M. Francq. Il a construit pour le tramway de Rueil à Marly une locomotive sans foyer (fig. 134) emportant avec elle au départ,



Fig. — 137. Locomotive de tramway remorquant un train de trois voitures.

dans un réservoir spécial, une provision d'eau et de vapeur suffisante pour effectuer tout son trajet. Ce réservoir renferme environ 1800 litres d'eau maintenue à la température de 1200°, et la vapeur est à la pression de 15 atmosphères. A mesure que la vapeur se dégage, la pression diminue et l'eau entre en ébullition pour en fournir une nouvelle quantité. La vapeur se rend dans une sorte de détendeur ou de régulateur automatique ayant pour but de la débiter toujours à la même pression, de manière à ce qu'elle arrive constamment à 5 kilogrammes dans les cylindres; autrement il se produirait dans l'effort moteur des variations brusques tout à fait nuisibles au bon fonctionnement de la machine. Cet appareil est disposé d'ailleurs dans des conditions assez analogues à celles du régulateur d'air comprimé des locomotives du Gothard que nous avons décrit page 75.


Fig. 138. — Voiture à vapeur du tramway de Lausanne à Echallens.

M. Mékarski avait essayé de son côté une solution un peu diffé-

rente, en ayant recours à l'intermédiaire de l'air comprimé, au lieu d'employer directement la vapeur. Dans cette disposition, un certain volume d'air est comprimé dans une usine spéciale et enfermé dans des réservoirs qui sont chargés sur les voitures, il fournit ensuite en marche, en se détendant dans les cylindres, l'effort moteur nécessaire. C'est le système qui avait été adopté au Saint-Gothard, et qui présente dans cette application également l'avantage de ne pas vicier l'air et d'éviter toute production de fumée.



Fig. 139. — Coupe d'un rail à ornière pour tramway.

D'autres constructeurs ont essayé de conserver la machine à vapeur avec son foyer, mais en brûlant alors du coke dans les parcours à l'intérieur des villes pour éviter la production de la fumée. La locomotive du tramway forme alors une petite voiture spéciale dont les pièces mobiles sont aussi bien recouvertes que possible, et qui vient

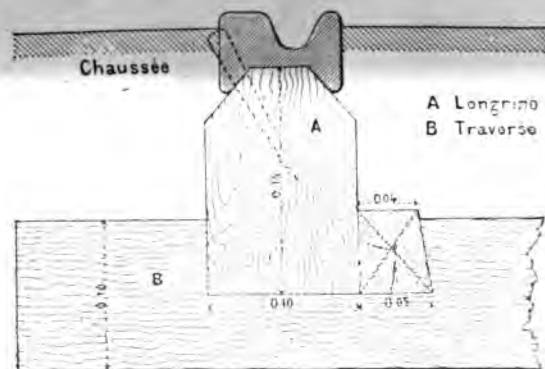


Fig. 140. — Ancienne disposition de la voie d'un tramway.

A. Longrine longitudinale supportant le rail. — B. Traverse.

s'atteler en tête d'un train formé quelquefois de deux wagons. Les locomotives Harding, qui étaient en service sur les Tramways-Sud, ont fourni dans Paris un exemple de cette disposition qui est

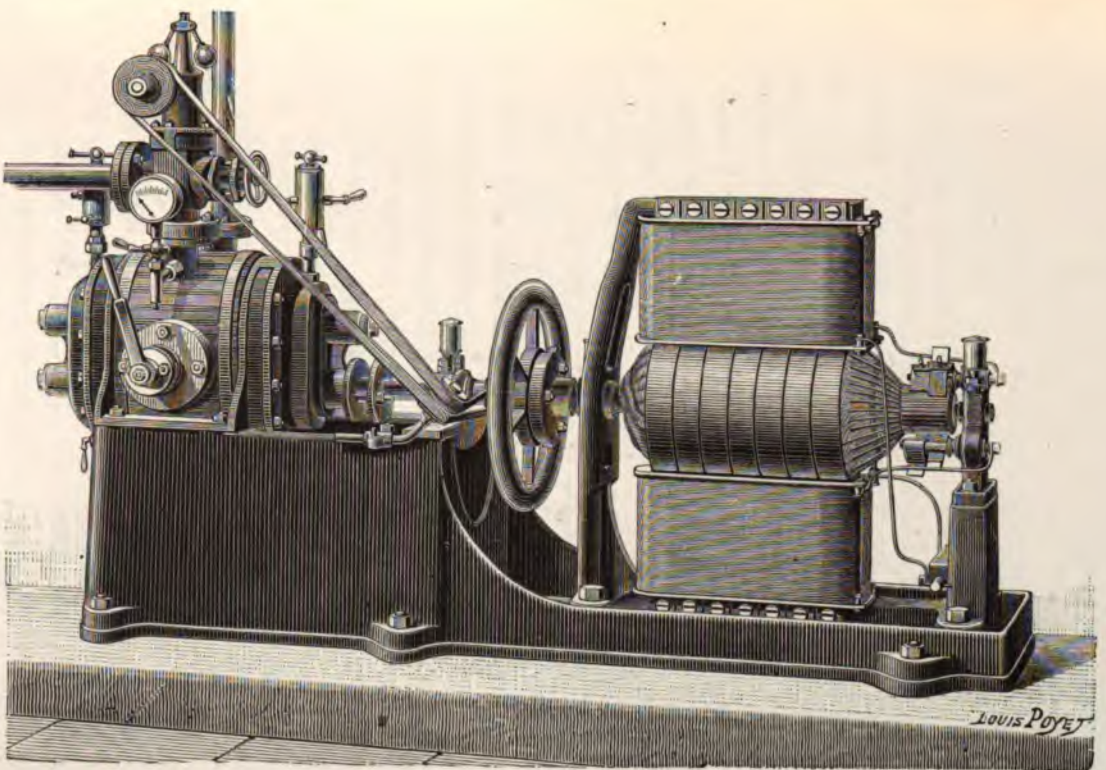


Fig. 141. — Chemin de fer électrique de Lichterfelde. — Machine génératrice d'électricité installée dans la gare de départ.

encore adoptée sur la ligne de l'Étoile à Neuilly. Quelquefois, le mécanisme est placé sur le véhicule même, comme dans la voiture à vapeur des tramways de Londres (fig. 136).

Lorsque le tramway doit traverser la campagne pour mettre en communication une ville avec sa banlieue, on se trouve dans des conditions qui se rapprochent davantage de celles des chemins de fer, puisque les arrêts ne sont plus aussi fréquents, et l'emploi de la machine à vapeur ne présente plus les mêmes inconvénients. Telle est, par exemple, la disposition représentée sur la figure 137 dans laquelle une locomotive de tramway remorque un petit train composé de trois wagons, dont un fourgon, et une voiture à impériale.

Nous avons représenté également sur la figure 138 une voiture à vapeur qui fait aussi sur une voie ordinaire, en rase campagne, le service sur la ligne de Lausanne à Echallens. Celle-ci, qui devient presque une section de chemin de fer, comprend un parcours de 14,180 mètres avec des pentes de 25 à 40 millimètres.

La locomotive est solidaire de la voiture, comme on le voit sur la figure 138, et l'ensemble est porté à l'extrémité sur deux trucks articulés pour permettre le passage dans les courbes. La surface de chauffe de la petite chaudière est de 14 mètres carrés, et la vitesse de marche de 25 kilomètres à l'heure. La consommation de combustible n'est guère supérieure à 100 kilogrammes pour un parcours de 25 kilomètres.

La voiture a $12^{m},90$ de long, sur $2^{m},40$ de large, et $4^{m},70$ de haut. Elle peut contenir 64 voyageurs et présente un poids de 11 tonnes 5 à vide.

Les rails des tramways sont toujours des rails à ornière sans saillie pour ne pas gêner la circulation des autres véhicules. Nous avons représenté, sur les figures 139 et 140, le rail Loubat qui fut essayé en 1853 sur la ligne de l'Étoile à Courbevoie. Dans la disposition primitivement adoptée, ces rails reposaient, comme on le voit, sur deux longrines entre-toisées par des traverses en bois.

On supprime les traverses aujourd'hui pour les voies établies

dans les rues pavées, car le pavage contribue à maintenir l'écartement des rails, et on se contente de relier ceux-ci par des bandes de fer méplat posées entre les pavés.

La largeur de la voie à Paris est de $1^m,44$ sur presque toutes les lignes du réseau des tramways, de manière à permettre les parcours communs sur différentes lignes.

Les chemins de fer électriques. — L'application de l'électricité à la traction sur les voies ferrées est aujourd'hui un fait acquis. On a vu en effet un petit chemin de fer électrique qui a fonctionné à Berlin pendant toute la durée de l'Exposition de 1879, et nous l'avons retrouvé plus tard, en 1880, à celles de Dusseldorf et de Bruxelles. M. Siemens est même parvenu à en faire une application entièrement industrielle sur la ligne récemment inaugurée de Lichterfelde allant de la gare du chemin de Anhalt à l'Institut des Cadets. D'ailleurs, nous avons possédé également à Paris un chemin électrique de 7 à 800 mètres de longueur, installé sur les Champs-Élysées à l'occasion de la grande Exposition d'électricité de 1881.

Dans cette application si ingénieuse et toute nouvelle, le courant est produit, comme on sait, par une première machine dynamo-électrique fixe, et recueilli dans une seconde machine mobile qui effectue la transformation inverse de la première, et se met en mouvement sous l'influence du courant transmis dans les bobines. Dans la disposition adoptée à Berlin et à Dusseldorf, la bobine motrice était portée sur une machine spéciale attelée devant la voiture ; le courant était amené jusqu'à la machine mobile par un troisième rail placé au milieu de la voie et soigneusement isolé du sol, il retournait à la machine fixe par les rails eux-mêmes. A Lichterfelde, on a reporté la bobine motrice sous la voiture elle-même qui est devenue automobile, ce qui a permis de supprimer le véhicule qui la portait, enfin on a supprimé également le rail du milieu, et on s'est servi des rails latéraux convenablement isolés comme conducteurs : celui de droite a été mis en communication avec le pôle positif du générateur, et celui de gauche avec le pôle négatif.



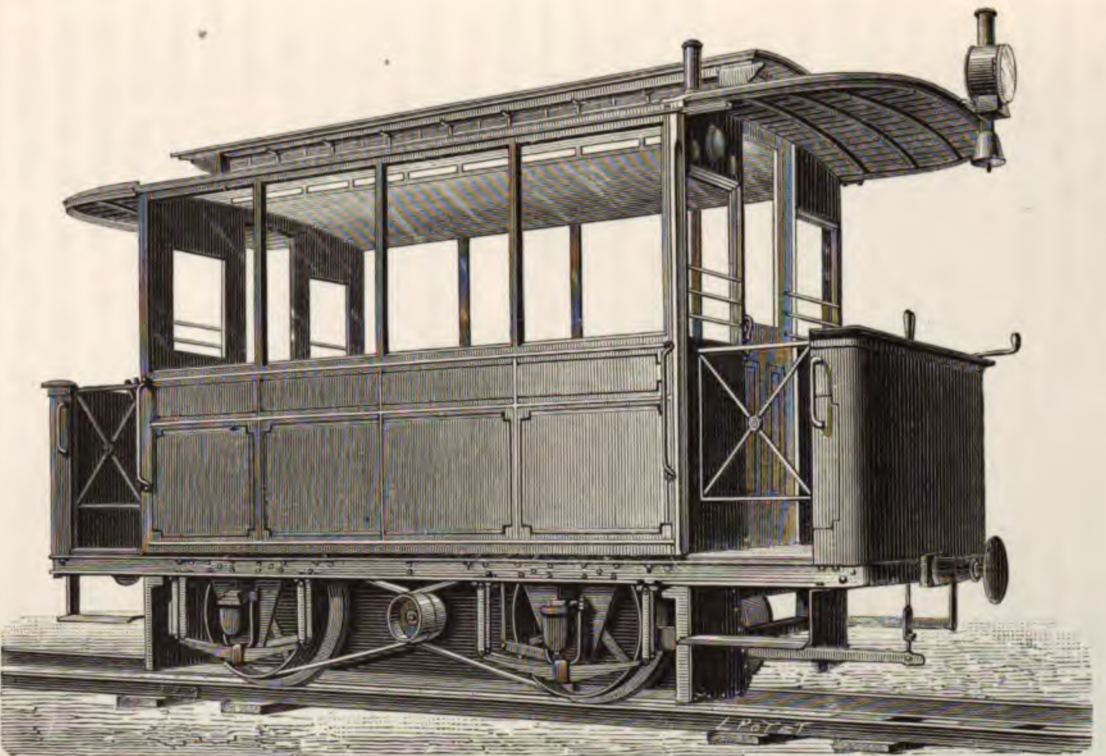


Fig. 142. — Chemin de Lichterfelde. — Voiture automobile contenant 20 places de voyageurs.

Les rails reposent alors sur des traverses en bois faisant saillie au-dessus du sol, comme on le voit sur la figure 142, et ils se trouvent ainsi isolés de la terre. Une pareille disposition exige évidemment une chaussée spéciale, et elle entraîne d'ailleurs encore certaines difficultés pour isoler les rails dans les passages à niveau.

La voiture de Lichterfelde, qui est représentée sur la figure 142, figurait à l'Exposition d'électricité, elle a l'aspect d'un tramway sans impériale, elle comprend 20 places, dont 12 assises, et 8 debout, elle marche en avant ou en arrière indistinctement, et elle se manœuvre à l'aide d'un simple commutateur placé à la main du conducteur à côté du frein.

La bobine motrice est placée sous le châssis, elle transmet son mouvement aux roues à l'aide de poulies et de lames d'acier au lieu de courroies. Les roues sont isolées électriquement de l'arbre, et le courant est transmis depuis les rails jusqu'au commutateur à l'aide de balais disposés sur le bâti et qui frottent contre des bagues isolées en communication avec les roues et par suite avec les rails.

La figure 141 représente la machine motrice actionnée par une machine à vapeur montée sur un bâti commun. Celle-ci est située à 500 mètres environ de la gare, et le courant qu'elle produit est amené par des fils isolés jusqu'aux rails.

Dans l'installation adoptée à Paris, on a dû renoncer à transmettre le courant par l'intermédiaire des rails, car il aurait fallu les mettre en saillie, ce qui aurait entravé la circulation, et ils auraient pu se trouver mis en communication par une circonstance accidentelle qui aurait entravé le fonctionnement. On a dû employer un cable spécial suspendu en l'air et rattaché électriquement à la voiture, il a même été impossible d'utiliser les rails pour ramener le courant en retour jusqu'à la machine fixe, car la boue qui se collait sur les rails et les jantes des roues formait une sorte de croûte isolante qui interceptait la communication. On n'a pas hésité alors à établir un second cable conducteur parallèle au premier, en communica-

tion avec l'autre pôle du générateur. Le courant transmis par les conducteurs est amené jusqu'à la voiture par un petit chariot spécial relié à celle-ci par un fil métallique et qui se déplace avec elle. Ce chariot, dont la *Nature* du 4 octobre 1881 a donné le dessin et la description, se compose d'un châssis rectangulaire portant en son milieu une roulette dont la gorge demi-cylindrique vient s'appliquer contre la surface extérieure du conducteur. Celui-ci est formé d'un tube creux en laiton de 22 millimètres de diamètre fendu à sa partie inférieure et dans toute sa longueur sur une largeur d'environ 1 centimètre, et il reçoit à l'intérieur un noyau cylindrique de 12 centimètres de longueur environ formant le quatrième côté du châssis mobile qui supporte la roulette. Deux ressorts poussent le galet contre le tube et maintiennent le contact élastique nécessaire pour la transmission du courant.

Cette disposition ingénieuse donne aux Champs-Élysées des résultats bien satisfaisants; malheureusement elle n'est pas applicable dans les rues mêmes, et on se trouve alors obligé, à l'intérieur des villes, d'établir les tramways électriques sur une chaussée spéciale.

M. Chrétien est l'auteur d'un projet très curieux, consistant à établir à Paris des chemins de fer aériens analogues à ceux de New-York, mais qui seraient actionnés par l'électricité, et dont nous allons dire quelques mots.

Sur les grands boulevards, par exemple, on installerait un viaduc à deux voies porté par une rangée de colonnes espacées de 40 à 50 mètres les unes des autres sur le milieu de la chaussée, et s'élevant à une hauteur de 5 à 7 mètres environ au-dessus du sol. Les stations seraient au nombre de 12, écartées de 360 mètres environ, et on y accéderait sans difficulté par des escaliers disposés sur les trottoirs, ou même par des ascenseurs.

Deux usines seraient suffisantes pour fournir la quantité d'électricité nécessaire, et le courant serait amené par l'intermédiaire de fils métalliques jusqu'aux voitures disposés d'une manière analogue à celle des Champs-Élysées.



La vitesse de marche serait de 350 à 400 mètres à la minute, et le trajet total de la Madeleine à la Bastille s'effectuerait ainsi en dix-huit minutes environ.

Nous ne savons si ce projet grandiose sera prochainement réalisé, mais on ne saurait nier que l'électricité n'est admirablement appropriée pour assurer la traction dans les grandes villes, car elle supprime tout bruit, toute fumée et tout danger d'incendie. De plus, le moteur employé est alors d'un poids très léger, de sorte que l'établissement de la voie devient beaucoup moins dispendieux. Enfin, en employant les machines à vapeur fixes, elle permet d'utiliser d'une manière plus satisfaisante déjà qu'avec les locomotives le combustible dépensé, et il y a lieu de penser en effet que le rendement des locomotives est souvent inférieur à celui des autres types de machines industrielles. Toutefois cette dernière question n'est pas encore entièrement tranchée, comme nous le disions plus haut, et les premiers résultats obtenus déjà par la Compagnie de l'Est avec son magnifique wagon d'expériences, semblent indiquer que l'écart est moins fort qu'on le croit souvent.

Quoi qu'il en soit, l'électricité est appelée sans doute à jouer un jour un rôle considérable même dans la traction sur les voies ferrées, et à supplanter peut-être dans l'avenir la locomotive elle-même, surtout si elle peut réussir à recueillir et utiliser directement les forces naturelles.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

QUATRIÈME PARTIE

LES TRAINS EN MARCHE

CINQUIÈME PARTIE

LES CHEMINS DE FER DANS LES MONTAGNES

SIXIÈME PARTIE

LES VOIES FERRÉES DANS LES VILLES

FIN DE TABLE DES MATIÈRES.

[illegible] Corbeil. Imprimerie Crété.

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

VOLUMES PUBLIÉS AU 31 DÉCEMBRE 1881

Les Récréations scientifiques ou l'Enseignement par les jeux, par Gaston TISSANDIER. — 2ᵉ édition entièrement refondue. 225 figures dans le texte.

Les principales applications de l'Électricité, par E. HOSPITALIER, ingénieur des Arts et Manufactures. — 2ᵉ édition entièrement refondue. 133 figures dans le texte et 4 planches hors texte.

Excursions géologiques à travers la France, par Stanislas MEUNIER, docteur ès sciences, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle. — 96 figures dans le texte et 2 planches hors texte.

Les Voies ferrées, par L. BACLÉ, ancien élève de l'École polytechnique. — 143 figures dans le texte et 4 planches hors texte.

Chaque volume est vendu broché.................................... 10 fr.
— richement cartonné.................................... 13 fr.

OUVRAGE DU MÊME AUTEUR

MANUEL DU MÉCANICIEN CONDUCTEUR DE LOCOMOTIVES, par G. RICHARD et L. BACLÉ. 1 vol. in-8 de 550 pages avec 368 fig. et un atlas de dix planches, chez Dunod. Prix. 25 fr.

CORBEIL. — Typ. et stér. CRÉTÉ.



